

ADT/846



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
POSTGRADO EN INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE PLATAFORMA DE RED *MESH* PARA EL MONITOREO EN
RESPUESTA A INCIDENTES DE ROBO/HURTO VEHICULAR COMO
ELEMENTO DE *SMART CITY*. CASO: MUNICIPIO LIBERTADOR, CARACAS**

Presentado por:

Márquez Lagalla, Juan Daniel

Para optar al título de:

Especialista en Ingeniería de Telecomunicaciones

Asesor:

Guillén Guédez, Ana Julia

Caracas, marzo de 2016

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
POSTGRADO EN INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

1
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE PLATAFORMA DE RED *MESH* PARA EL MONITOREO EN
RESPUESTA A INCIDENTES DE ROBO/HURTO VEHICULAR COMO
ELEMENTO DE *SMART CITY*. CASO: MUNICIPIO LIBERTADOR, CARACAS

Presentado por:

Márquez Lagalla, Juan Daniel

Para optar al título de:
Especialista en Ingeniería de Telecomunicaciones

Asesor:
Guillén Guédez, Ana Julia

Caracas, marzo de 2016

SRES.
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
POSTGRADO EN INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
ATENCIÓN: PROF. BERARDO DI ATTANASIO

APROBACIÓN DE ASESORÍA

Por la presente hago constar que he leído el Trabajo Especial de Grado, presentado por el ciudadano **Juan Daniel Márquez Lagalla**, titular de la cédula de identidad n° 20.450.256, para optar al Grado de **Especialista en Ingeniería de Telecomunicaciones**, cuyo título es: "**Diseño de plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular como elemento de *Smart City*. Caso: municipio Libertador, Caracas**"; y manifiesto que cumple con los requisitos exigidos por la Dirección General de los Estudios de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello, y que, por lo tanto, lo considero apto para ser evaluado por el jurado que se decida designar a tal fin.

En la ciudad de Caracas, a los **14** días del mes de **Marzo** de 2016.



Ana Julia Guillén

C.I. 7.599.767



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESTUDIOS DE POSTGRADO
ÁREA DE INGENIERÍA
POSTGRADO EN INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DISEÑO DE PLATAFORMA DE RED *MESH* PARA EL MONITOREO EN
RESPUESTA A INCIDENTES DE ROBO/HURTO VEHICULAR COMO
ELEMENTO DE *SMART CITY*. CASO: MUNICIPIO LIBERTADOR, CARACAS

Autor: Márquez Lagalla, Juan Daniel

Asesor: Guillén Guédez, Ana Julia

Año: 2016

RESUMEN

Una tendencia en la actualidad concerniente al desarrollo de entornos urbanos se basa en la alineación de los diferentes componentes de una ciudad, servicios, infraestructura, movilidad, entre otros, con la evolución de la tecnología y principios de sustentabilidad. Dicha tendencia representa uno de los pilares fundamentales de la *Smart City*. A nivel mundial, una de las ciudades más rezagadas debido a sus bajas condiciones en diferentes ámbitos, tales como cohesión social y tecnología, es la ciudad de Caracas. De todos los factores que afectan la cohesión social, el robo y hurto de vehículos es uno de los más sobresalientes, debido a la alta frecuencia en que ocurren en la ciudad de Caracas, específicamente en el municipio Libertador. Tomando en cuenta que en el entorno descrito existe potencial para el desarrollo de iniciativas asociadas a la *Smart City*, la presente investigación propuso el diseño de una plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular como elemento de *Smart City*, a través de la identificación de los requerimientos funcionales y técnicos para dicha plataforma, siguiendo posteriormente con la elaboración de un análisis situacional de la red existente en la localidad con aplicación a respuesta de incidentes, así como la definición de los diferentes elementos tales como enlaces, protocolos y nodos que conforman la red *Mesh* y finalmente se procedió a la validación del diseño propuesto por medio de pruebas de concepto.

Palabras Clave: Diseño, Red *Mesh*, Monitoreo, Respuesta a Incidentes, *Smart City*, Municipio Libertador Caracas.

Línea de Trabajo: Telecomunicaciones, Ciudades Inteligentes.

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

2G/3G/4G: Segunda/Tercera/Cuarta generación de telefonía móvil

AODV: *Ad hoc On-Demand Distance Vector routing*

AP: *Access Point*

AWPP: *Adaptative Wireless Path Protocol*

BD: Base de Datos

bps: *bits per second*

CCC: Centro de Comando, Control y Comunicaciones

CDMA: *Code Division Multiple Access*

CI: *Crime Index*

CICPC: Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas

CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones

CSMA/CA: *Carrier sense multiple access with collision avoidance*

CUNABAF: Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias

DCF: *Distributed Coordination Function*

DES: Discrete event simulation

DR: *Death Rate*

DSRC: *Dedicated short-range communications*

DTLS: *Datagram Transport Layer Security*

EV: *Electric Vehicle*

FTP: *File Transfer Protocol*

GIN: *Gini Index*

GSM: *Global System for Mobile communications*

GUI: *Graphical User Interface*

HCF: *Hybrid Coordination Function*

HCI: *Health Care Index*

HSPA: *High-Speed Packet Access*

HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*

HWMP: *Hybrid Wireless Mesh Protocol*

Hz: Hertz

I+D: Investigación y desarrollo

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IESE: Instituto de Estudios Superiores de la Empresa (Universidad de Navarra)

INE: Instituto Nacional de Estadística

IOT: *Internet of Things*

IP: *Internet Protocol*

IPv6: *Internet Protocol version 6*

ISO: *International Organization for Standardization*

LAN: *Local Area Network*

LOTTEL: Ley Orgánica de Telecomunicaciones

LPR: *License-plate recognition*

LTE: *Long Term Evolution*

MAC: *Media Access Control*

MAP: *Mesh Access Point*

MCF: *Mesh Coordination Function*

ns: *network simulator*

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

OMNeT++: *Objective Modular Network Test-bed in C++*

OPNET: *OPtimized Network Engineering Tools*

OSI: *Open Systems Interconnection*

PCF: *Point Coordination Function*

PHY: Capa Física

PPIR: *Property Prices to Income Ratio*

PROVEA: Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos

RAP: *Root Access Point*

RFC: *Request for Comments*

RIP: *Routing Information Protocol*

RTSP: *Real Time Streaming Protocol*

SIMA: Sistema Integrado de Monitoreo y Asistencia

SMTP: *Simple Mail Transfer Protocol*

SUASS: Sistema Unificado Automatizado de Seguridad y Salud

TCP: *Transmission Control Protocol*

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicaciones

UDP: *User Datagram Protocol*

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T: Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT

UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System*

UPEL: Universidad Pedagógica Experimental Libertador

USD: Dólares de los Estados Unidos de América

V2V: *Vehicle to Vehicle*

WAN: *Wide Area Network*

WAVE: *Wireless Access in Vehicular Environments*

WLAN: *Wireless Local Area Network*

WWAN: *Wireless Wide Area Network*

xEMS: *Energy Management System*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Objetivos de la Investigación.....	8
1.3 Justificación de la Investigación	9
1.4 Alcance y Delimitaciones de la Investigación	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1 Antecedentes	12
2.2 Fundamentos Teóricos	20
2.3 Bases Legales.....	54
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	56
3.1 Tipo de Investigación	56
3.2 Diseño de la Investigación	57
3.3 Unidad de Análisis.....	58
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	58
3.5 Procedimiento por Objetivos	60
3.6 Operacionalización de las Variables	63
3.7 Aspectos Éticos.....	65
CAPÍTULO IV: MARCO REFERENCIAL.....	67
CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	71
5.1 Objetivo I. Identificación de los requerimientos funcionales y técnicos de la plataforma de red dentro de los cuales se enmarca la operación para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular.....	71
5.2 Objetivo II. Análisis situacional de la red existente con aplicación en respuesta a incidentes de seguridad en el municipio Libertador de Caracas, a través de la descripción de los elementos que la conforman.....	78

5.3	Objetivo III. Definición de los elementos que forman parte de la plataforma de red <i>Mesh</i> para monitoreo vehicular, determinando las características de los enlaces, protocolos y nodos.....	83
5.4	Objetivo IV. Precisión de pruebas de concepto para la simulación de la plataforma de red <i>Mesh</i> , mediante la especificación de diversos escenarios, con la finalidad de cerciorarse de su correcto funcionamiento en una eventual implementación.....	107
CAPITULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		123
6.1	Resultados.....	123
6.2	Carta de proyecto.....	127
CAPITULO VII: LECCIONES APRENDIDAS		131
7.1	Conocimientos derivados de la investigación.....	131
7.2	Ejecución del cronograma y balance de recursos.....	132
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		135
8.1	Conclusiones.....	135
8.2	Recomendaciones.....	138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		139
ANEXOS		144
Anexo 1. Criterios para la evaluación de Premisas.....		144
Anexo 2. Matriz de Prueba.....		145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Constructo de la investigación.	21
2. Ejemplo de infraestructura, solución de <i>Smart City</i> de Hitachi.	24
3. Las tecnologías en la Internet de las cosas.	27
4. Marco de sensibilidad al contexto para aplicaciones de <i>Smart Cities</i>	28
5. Ciclo de gestión de incidentes.	31
6. Estructura de un sistema de reconocimiento de placas (LPR).	33
7. Resultados de la extracción de placas en diferentes etapas.	34
8. Ejemplo de un sistema de red por capas.	37
9. Ejemplo de comunicación entre protocolos.	38
10. El modelo OSI de siete capas.	39
11. Características de algunos estándares de enlaces inalámbricos.	41
12. Elementos que conforman una red inalámbrica.	42
13. Arquitectura de red <i>Mesh</i> inalámbrica típica.	43
14. Pila de protocolos genérica de red <i>Mesh</i>	44
15. Mapa del municipio Libertador.	67
16. Modelo tecnológico general de proyectos de seguridad.	81
17. Modelo Operativo del Monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular.	84
18. Topología general opción 1.	94
19. Topología general opción 2.	97
20. Topología general opción 3.	100
21. Topología y Especificaciones de la red <i>Mesh</i>	106
22. Localidad de Referencia: Sabana Grande.	109
23. Creación de nuevo proyecto en Riverbed Modeler.	111
24. Vista resumen del proyecto creado.	111
25. Elementos del Object Pallete.	112
26. Topología de red <i>Mesh</i> - Herramienta de Simulación.	113
27. Atributos de estaciones <i>Mesh</i>	114
28. Configurando uso del protocolo 802.11n.	114
29. Perfil de uso "Monitoreo".	115
30. Tres escenarios de simulación creados.	116
31. Ejecución de la simulación.	116
32. Cronograma de la investigación.	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Posición alcanzada por la ciudad de Caracas por indicador.	5
2. Servicios de red y parámetros cuantitativos.	49
3. Marco legal.	54
4. Proceso de operacionalización de las variables.	64
5. Distribución de la población en el municipio Libertador (2001-2011).	69
6. Hogares con disponibilidad de vehículos (2001-2011).	70
7. Requerimiento Cualitativo: Enrutamiento y Direccionamiento.	72
8. Requerimiento Cualitativo: Disponibilidad.	72
9. Requerimiento Cualitativo: Seguridad y Restricción de Acceso.	73
10. Requerimiento Cualitativo: Gestión de Red.	73
11. Requerimiento Cualitativo: Tolerancia a Fallas.	73
12. Requerimiento Cualitativo: Soporte de Tráfico.	74
13. Requerimiento Cualitativo: Terminales y Nodos.	74
14. Requerimiento Cualitativo: Topología.	74
15. Requerimiento Cuantitativo: Rendimiento (<i>Throughput</i>).	75
16. Requerimiento Cuantitativo: Demora (<i>Delay</i>).	75
17. Requerimiento Cuantitativo: Fluctuación (<i>Jitter</i>).	75
18. Requerimiento Cuantitativo: Pérdida de Paquetes.	76
19. Escala de valores estándar de la <i>Telkom Polytechnic</i> : Rendimiento.	76
20. Escala de valores estándar de la UIT-T G.114: Demora.	77
21. Escala de valores estándar de la UIT-T G.114: Fluctuación.	77
22. Escala de valores estándar de la TIPHON TR 101 329: Pérdida de Paquetes.	77
23. Estado deseado de los requerimientos cuantitativos.	78
24. Ventajas y Desventajas – Opción Referencia.	91
25. Premisas de riesgo – Opción Referencia.	92
26. Ventajas y Desventajas – Opción 1.	93
27. Premisas de riesgo – Opción 1.	95
28. Ventajas y Desventajas – Opción 2.	96
29. Premisas de riesgo – Opción 2.	97
30. Ventajas y Desventajas – Opción 3.	99
31. Premisas de riesgo – Opción 3.	101
32. Comparación de Opciones: Requerimientos.	101
33. Comparación de Opciones: Premisas y Riesgo.	102
34. Caso de Prueba.	110
35. Elementos utilizados del <i>Object Palette</i>	112
36. Comparación del parámetro Rendimiento.	121

Tabla	Pág.
37. Comparación del parámetro Demora	122
38. Comparación del parámetro Demora	122
39. Duración del proyecto.....	128
40. Presupuesto estimado.....	129
41. Organización del proyecto.....	130
42. Recursos de la investigación.....	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	Pág.
1. Evolución de robos y hurtos de autos.	6
2. Porcentaje de hogares con disponibilidad de vehículos (2001-2011)...	70
3. Rendimiento (Throughput) global - Escenario 1	117
4. Delay (Demora) global - Escenario 1	117
5. Paquetes Perdidos (IP Traffic Dropped) global - Escenario 1.....	118
6. Rendimiento (Throughput) global - Escenario 2	118
7. Delay (Demora) global - Escenario 2	119
8. Paquetes Perdidos (IP Traffic Dropped) global - Escenario 2.....	119
9. Rendimiento (Throughput) global - Escenario 3	120
10. Delay (Demora) global - Escenario 3	120
11. Paquetes Perdidos (IP Traffic Dropped) global - Escenario 3.....	121

INTRODUCCIÓN

El concepto de la *Smart City* o ciudad inteligente surge como respuesta a las necesidades presentes en distintos entornos urbanos a nivel mundial para hacer frente a los diferentes retos que en los últimos años han desafiado las condiciones de vida de los ciudadanos del siglo XXI. Como pilar fundamental de la *Smart City* se encuentra el uso de tecnologías para propiciar el desarrollo de servicios, infraestructuras y modelos de movilidad, seguridad, entre otros, que respondan a la realidad de la localidad y de quienes la habitan.

Se han desarrollado estudios que analizan a la ciudad desde las diferentes perspectivas, tales como tecnológicas, sociales, económicas y gubernamentales, que permiten ubicar a la ciudad en relación al estado ideal conceptualizado en la *Smart City*. La IESE *Business School* de la Universidad de Navarra (España) desarrolló un estudio de las características mencionadas en el año 2015, donde se evaluaron 148 ciudades a nivel mundial. Entre las ciudades incluidas en el estudio se encontraba Caracas, la cual ocupó la posición 147. De los diferentes indicadores que configuraron el resultado de la capital venezolana, se destacan el de tecnología y cohesión social, éste último influenciado, entre otros factores, por la cantidad de incidentes de robo y hurto.

El robo y hurto, especialmente de vehículos, es uno de los hechos delictivos registrados con mayor frecuencia en la ciudad de Caracas. En la presente investigación se selecciona como caso estudio el municipio Libertador, donde la tendencia respecto a la cantidad de este tipo de actos vandálicos no solo se mantiene, sino que también se posiciona como una de las más altas tanto en relación al resto de los municipios caraqueños como a nivel nacional. En vista del pronóstico que pudiera suponer que la situación presentada continúe en el tiempo y que la localidad presenta potencial para el desarrollo de elementos tecnológicos diferenciadores e innovadores que la impulsen como *Smart City*, se planteó el diseño de una plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular como elemento de ciudad inteligente.

1

Para la consecución de la solución planteada se tomaron en cuenta aspectos como los requerimientos cualitativos (rasgos generales de la red) o funcionales, así como técnicos (rendimiento (*throughput*), demora (*delay*), fluctuación (*jitter*) y pérdida de paquetes) que deben identificarse en el diseño de una red, iniciándose con una serie de especificaciones que cobran forma de lineamientos. Seguidamente, por medio del análisis situacional de la plataforma de comunicaciones que soporta el sistema de atención de incidencias en la municipalidad y haciendo uso de un modelo tecnológico donde se describan los elementos que conforman la topología, se conocieron las características que influyeron en la propuesta de la investigación.

Uno de los modelos que mejor permiten describir los componentes de una red, así como la forma en que se interconectan y operan, son aquellos basados en capas y protocolos, como el estandarizado modelo OSI de siete capas. Haciendo uso de un modelo de tales características para enmarcar los diferentes elementos de la plataforma (cámaras de red, enlaces inalámbricos, AP, *routers*, servidores, etc.) se delimitó una topología que englobó todos los elementos interconectados. Por último, mediante la elaboración de pruebas de concepto por medio de una herramienta de simulación se procedió a la validación del diseño.

La presente investigación se encuentra distribuida en ocho capítulos. El primer capítulo contiene la definición del estudio, que abarca el planteamiento del problema, objetivos que permitirán su resolución, así como el alcance y justificación del mismo. El segundo capítulo corresponde a la indagación que, incluyendo antecedentes, fundamentos teóricos y bases legales, da soporte a la investigación. El tercer capítulo, concerniente al marco metodológico, se encarga de tipificar y diseñar la investigación estableciendo estrategias para abordar los objetivos planteados. Seguidamente, el cuarto capítulo abarca aspectos del marco referencial de la investigación, asociados a la descripción del entorno caso estudio. El quinto capítulo corresponde al desarrollo de los objetivos específicos, mientras que el sexto contiene el análisis de los resultados obtenidos. Finalmente, el séptimo capítulo detalla las lecciones aprendidas y el octavo las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El capítulo I de la investigación es aquél en el que se describen los argumentos que en conjunto dan forma a la concepción del tema en estudio, las formas en que éste se manifiesta en su entorno, las características únicas que permiten su tratamiento como una situación de interés o problemática y la delimitación sobre los procesos a través de los cuáles se busca otorgar una respuesta a dicha problemática.

En concreto, Escorcía (2010) enmarca la problemática de la investigación como:

“Concebida la investigación como un trabajo mediante el cual obtenemos conocimiento, cabe señalar algunos elementos que la caracterizan... El primero de ellos determina el comienzo de toda investigación y se caracteriza por la identificación de un problema, situación deficiente o necesidad en un área temática particular, y nace como una idea vaga que requiere de análisis cuidadoso para ser transformada en planteamientos precisos y estructurados; esto obliga a ordenar y sistematizar inquietudes mediante preguntas para comprender realmente el problema...” (p.13).

Tomando en cuenta los elementos descritos por Escorcía (2010) e iniciando con una perspectiva desarrollada desde un nivel general o macro hasta alcanzar un nivel específico o micro, se describe a continuación el planteamiento del problema, se presentan los objetivos, justificación y alcance de la investigación.

1.1 Planteamiento del Problema

En los últimos años, el desarrollo de la urbanización ha supuesto un conjunto de cambios significativos que han transformado a las metrópolis a nivel mundial: la evolución de áreas verdes en espacios sin vida, el incremento de la densidad poblacional, necesidades crecientes por parte de los ciudadanos a alternativas de transporte, probabilidades cada vez mayores de ocurrencia de hechos delictivos, entre otros.

No obstante, se deben tomar en cuenta las tendencias tecnológicas que surgen en la era actual, las cuales cuestionan la forma en que las actividades del día a día son desarrolladas, los métodos convencionales para llevar a cabo diversas actividades, y los problemas existentes en el entorno. Los sistemas de información, en especial

las tecnologías relacionadas con las telecomunicaciones y los dispositivos informáticos, representan la inspiración base de la transformación tecnológica.

Con base a este ecosistema tecnológico, existen ciudades planificadas para desarrollarse en pro de solventar las adversidades que enfrentan, localidades que aspiran a transformarse en ciudades inteligentes o *Smart Cities*. Una *Smart City* puede definirse como un espacio urbano diseñado y gestionado en torno a los ciudadanos y sus necesidades, donde se hace uso de las tecnologías disponibles para estimular el desarrollo sustentable y promover el incremento de la calidad de vida; una ciudad que administra los recursos de forma eficiente y donde la innovación en los modelos que rigen la actividad del entorno surge en un contexto social.

Las ciudades inteligentes suelen integrar soluciones en diversas áreas de interés para el bienestar de la sociedad, tales como servicios a la ciudadanía, movilidad, servicios públicos, salud, seguridad, entre otros. Un estudio desarrollado por Berrone y Ricart en el año 2015 en el Instituto de Estudios Superiores de la Empresa o IESE *Business School* de la Universidad de Navarra (España) toma en cuenta indicadores tales como capital humano, cohesión social, economía, gestión pública, gobernanza, medio ambiente, movilidad y transporte, planificación urbana, proyección internacional y tecnología, para evaluar a las ciudades dentro del contexto mencionado por medio de un modelo denominado "Cities in Motion". El estudio asigna un índice, con base a 100, a diversas ciudades a nivel mundial con base a los indicadores mencionados. De 148 ciudades estudiadas, Caracas (Venezuela) obtuvo un puntaje de 35.83, ocupando la posición 147, la penúltima a nivel mundial y convirtiéndose en la peor posicionada entre las otras 24 ciudades latinoamericanas que fueron incluidas en el reporte: Buenos Aires, Córdoba, Rosario (Argentina), La Paz (Bolivia), Belo Horizonte, Brasilia, Curitiba, Fortaleza, Porto Alegre, Recife, Río de Janeiro, Salvador, São Paulo (Brasil), Santiago (Chile), Bogotá, Cali, Medellín (Colombia), Quito (Ecuador), Santo Domingo (República Dominicana), Guadalajara, México D.F., Monterrey (México), Lima (Perú) y Montevideo (Uruguay). (Berrone y Ricart, 2015)

En la tabla 1 que se presenta a continuación, se listan las posiciones alcanzadas por la ciudad de Caracas por cada uno de los indicadores utilizados en el estudio mencionado. La posición se expresa con base a 148 ciudades.

Tabla 1. Posición alcanzada por la ciudad de Caracas por indicador.

INDICADOR	POSICIÓN
Economía	141
Capital Humano	143
Cohesión Social	141
Medio Ambiente	98
Gestión Pública	95
Gobernanza	117
Planificación Urbana	133
Proyección Internacional	134
Tecnología	143
Movilidad y Transporte	72
Cities in Motion	147

Fuente: Berrone y Ricart, (2015, p. 26)

Se observa en la tabla 1 que dos de los indicadores en donde Caracas se encuentra peor posicionada es en Tecnología (143) y Cohesión Social (141). El primero hace referencia al nivel de adopción de diversos medios tecnológicos en la ciudad y por los ciudadanos, influenciado por indicadores como, por ejemplo, número de suscriptores a servicios de Internet de banda ancha, cantidad de empresas que disponen de *hotspots* de acceso a Internet, número de teléfonos celulares o smartphones por habitante, etc. El segundo, según Berrone y Ricart (2015), toma en cuenta los siguientes indicadores: "...la ratio de muertes cada 100.000 habitantes (DR); el índice de criminalidad (CI); el índice de sanidad (HCI); la tasa de desempleo (UER); el índice de Gini (GIN), y el precio de la propiedad como porcentaje del ingreso (PPIR)." (p. 9)

Por ende, las variables utilizadas para medir el indicador de cohesión social guardan relación con la seguridad y cantidad de delitos que ocurren en la capital venezolana. De forma que la delincuencia es una de las mayores amenazas al desarrollo integral de la ciudad. Según un reporte del año 2013 de la organización Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos (PROVEA), Distrito Capital, cuyo territorio corresponde al municipio Libertador de la ciudad de Caracas, concentra la mayor cantidad de delitos que fueron reconocidos por funcionarios del

Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas (CICPC), con un 17% con respecto a todo el país sudamericano. El mismo estudio refleja, además, a nivel nacional, que los tres delitos más comunes fueron Hurto (12,8%), robo de auto o vehículo (10,4%) y robo (9,7%). (Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos (PROVEA), 2013)

En consecuencia, el robo de auto o vehículo es uno de los crímenes más comunes tanto a nivel nacional como en Distrito Capital (Municipio Libertador). Como evidencia de ello, Tablante y Tarre, en el libro *Estado Delincuente* (2013), describen la evolución histórica del robo y hurto de autos a nivel nacional y por entidad federal. En el gráfico 1 que se presenta a continuación, se muestran los datos asociados a la cantidad de casos correspondientes a robo y hurto de autos a nivel nacional desde el año 2000 hasta 2010:

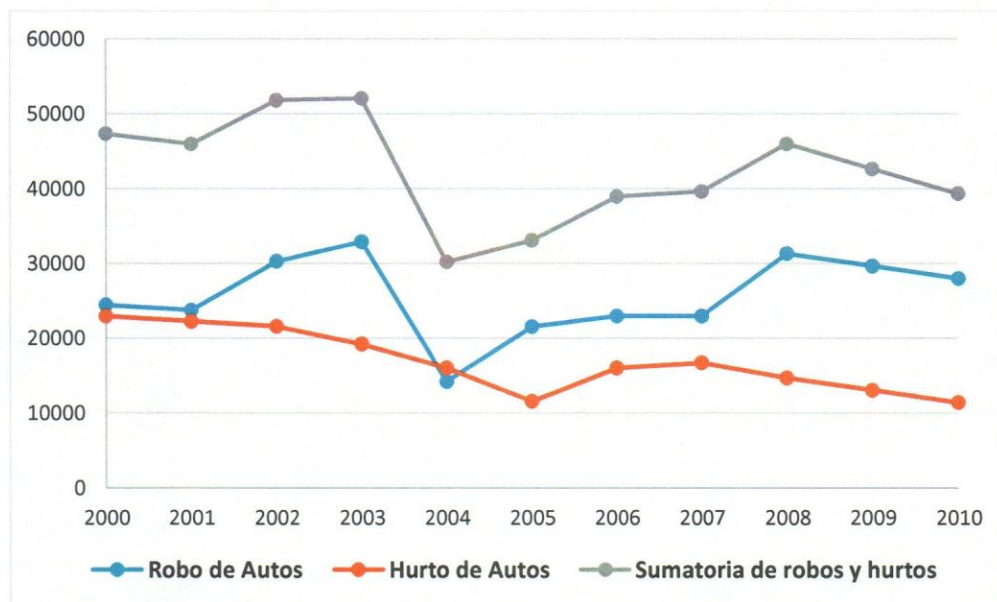


Gráfico 1. Evolución de robos y hurtos de autos.
Fuente: Tablante y Tarre (2013, p. 290)

Tablante y Tarre indican de igual forma que tan sólo en el año 2010 en el Distrito Capital (Municipio Libertador de Caracas), se registraron 2.860 casos de robo de autos, siendo la tercera región a nivel nacional detrás de los estados Zulia y Bolívar, y en cuanto a hurto de autos, 2.369 casos, la mayor cantidad en Venezuela.

La evolución mostrada en el gráfico 1 (ver página 6) demuestra que el robo y hurto de vehículos es un delito que se ha presentado, y de forma relativamente común, a lo largo del tiempo. En el caso del robo de autos, se llegó a registrar el mayor pico a nivel nacional en el año 2003 con 32.864 casos, mientras que en materia de hurto el mayor valor se registró en el año 2000 con 22.917 casos.

Si la situación continuara de esta manera, específicamente en el municipio Libertador de la ciudad de Caracas, sus consecuencias se verían reflejadas directamente en la calidad de vida de los habitantes de esta localidad, lo que eventualmente repercutiría en el desarrollo de la ciudad capital especialmente desde la perspectiva de ciudad inteligente o *Smart City*. Lo anterior se expresaría por medio de la afectación del desarrollo normal de las actividades por parte de los ciudadanos, ya sea por consecuencia de la pérdida del medio de transporte, así como la posible alteración de la integridad física y/o psicológica de las personas directamente afectadas, alteración de la conducta de la ciudadanía en general, entre otros.

Fue un hecho que el municipio Libertador de la ciudad de Caracas necesitó una propuesta, específicamente de índole tecnológica, para contar con una alternativa para eventualmente disminuir los casos de robo y hurto de vehículos. Dicha propuesta presentó como característica importante la integración en una red urbana de comunicaciones de los diferentes elementos tecnológicos de seguridad que permitan además propiciar el desarrollo del municipio, y la ciudad como un todo, en ciudad inteligente o *Smart City*.

A raíz de la situación planteada, surgió la presente investigación como planteamiento base para otorgar una respuesta.

1.1.1 Interrogante de la Investigación.

Se pretende sintetizar la problemática de la presente investigación por medio de la interrogante planteada a continuación:

¿Qué plataforma de red puede brindar monitoreo de respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular en el municipio Libertador de Caracas de modo que se aporte al desarrollo como *Smart City* de la ciudad?

1.1.2 Sistematización de la Investigación.

Los diferentes procesos que se llevaron a cabo para dar solución a la problemática planteada correspondieron a las respuestas de las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los servicios o características que debe ofrecer la plataforma de red para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular, así como las propiedades y restricciones a las que debe ajustarse?
- ¿Cuál es el estado de la plataforma de red actual en el municipio Libertador que permite atender incidentes de seguridad?
- ¿Qué elementos de red satisfacen los requerimientos definidos para la realización del monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular?
- ¿Cuál es el conjunto de pasos o fases que se deben llevar a cabo en el caso que se implemente la plataforma de red para el monitoreo vehicular?

1.2. Objetivos de la Investigación.

Los objetivos representan la finalidad de la investigación, de forma que el cumplimiento de los mismos debe dar respuesta a la problemática planteada. En los siguientes apartados se concretan tanto el objetivo general como los objetivos específicos asociados al tema en estudio.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar una plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular como elemento de *Smart City* dentro del municipio Libertador, Caracas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos funcionales y técnicos de la plataforma de red dentro de los cuales se enmarca la operación para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular.
- Realizar el análisis situacional de la red existente con aplicación en respuesta a incidentes de seguridad en el municipio Libertador de Caracas, a través de la descripción de los elementos que la conforman.
- Definir los elementos que forman parte de la plataforma de red *Mesh* para monitoreo vehicular, determinando las características de los enlaces, protocolos y nodos.
- Evaluar las pruebas de concepto para la simulación de la plataforma de red *Mesh*, mediante la especificación de diversos escenarios, con la finalidad de cerciorarse de su correcto funcionamiento en una eventual implementación.

1.3. Justificación de la Investigación

En los últimos años se han planteado nuevos modelos de desarrollo de entornos urbanos para satisfacer las necesidades y exigencias de los ciudadanos. Modelos basados en conocimiento que impulsan perspectivas estratégicas para concientizarse sobre la ciudad, la forma en que éstas se comportan las 24 horas 7 días a la semana y comunicar, de forma selectiva, conocimiento en tiempo real a los ciudadanos como usuarios finales con la finalidad de lograr la consecución de un estilo de vida satisfactorio con una entrega fácil e integrada de servicios públicos, conservando energías, elementos del entorno y diversos recursos naturales, creando comunidades estables, tanto desde el punto de vista social como económico. Dichos modelos conforman el concepto detrás de la *Smart City* o Ciudad Inteligente. Sin embargo, en el municipio Libertador de la ciudad de Caracas estos nuevos conceptos no se han desarrollado de manera exitosa, debido a que estudios, como el elaborado por Berrone y Ricart en el Instituto de Estudios Superiores de la Empresa o IESE *Business School* de la Universidad de Navarra (2015), demuestran

que Caracas es una de las ciudades peor posicionadas a nivel mundial en cuanto al desarrollo de indicadores alineados al desarrollo de la *Smart City*, trayendo como consecuencia impactos notables en la calidad de vida de los ciudadanos, especialmente en el ámbito de la cohesión social que involucra, entre otros, el robo y hurto de propiedades como vehículos.

No obstante, el entorno donde se ubica el estudio presenta potencial de evolucionar en torno a una *Smart City*. Un modelo o plataforma de red constituye la base o la principal tecnología habilitadora de los diferentes elementos que conforman la ciudad inteligente que, dentro de lo planteado con respecto al municipio Libertador, dicha red concentra su aplicación para el monitoreo del entorno de situaciones que toman la forma de incidentes de robo o hurto de vehículos, los cuales requieren de una respuesta efectiva y oportuna. El diseño de dicha plataforma de red se realizó en vista de satisfacer los diferentes requerimientos asociados, por medio de la definición de los diferentes elementos que la deben conformar en cada nivel, incluyendo la evaluación de los requerimientos correspondientes para determinar las características del medio de transmisión para interconectar los dispositivos identificados, tales como cámaras de red especializadas y servidores de bases de datos, demostrando por medio de pruebas de concepto la aplicabilidad del diseño.

Por otra parte, cabe destacar que uno de los motivos principales que impulsó la presente investigación es el valor que puede proporcionar una red de telecomunicaciones, con un diseño enmarcado en este caso a una temática particular, en la solución de una problemática con notables repercusiones en los ciudadanos que habitan en el entorno caso estudio. De acuerdo a Kumar (2015), en su contextualización de la relación entre las arquitecturas tecnológicas y la ciudad inteligente, debe existir una planificación de las TIC en toda la ciudad y las actividades que se desarrollan en la misma, considerando que las tecnologías de interconexión se deben encontrar fácilmente accesibles, desarrollando en todo caso la conectividad de última milla de la mejor forma coste-efectiva. De manera que se evidencia la importancia que presenta el diseño de la plataforma de red orientada al monitoreo vehicular para el desarrollo de la ciudad en el ámbito de *Smart City*.

1.4. Alcance y Delimitaciones de la Investigación

El entorno que se tomó como referencia para el desarrollo de la presente investigación corresponde al municipio Libertador de la ciudad de Caracas, por lo tanto, se tomaron en cuenta las condiciones existentes en dicha área, sobre todo las relacionadas con la estructura tecnológica existente para la respuesta a incidentes, que guardaban relación con las consideraciones que forman parte del enfoque del tema en estudio.

El desarrollo del planteamiento que concierne a la plataforma de red *Mesh* cubrió hasta el diseño de tal topología, la cual incluye los elementos de TIC que dan forma al monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular, tales como cámaras de red especializadas y servidores de bases de datos, así como los elementos que permiten la interconexión como los enlaces, medios de transmisión guiados y no guiados, entre otros. De forma que la presente investigación se encontró contenida hasta la evaluación técnica de dicha red.

Dado que la investigación se encuentra limitada en su alcance hasta el diseño, se excluyó todo lo concerniente al despliegue de la plataforma de red planteada, como las actividades que deben llevar a cabo los involucrados en la operación de dicha plataforma, la organización de los cuerpos de seguridad del entorno caso estudio y cualquier otro factor, especialmente de índole no tecnológica o de telecomunicaciones, que no inflencie de forma directa el diseño de la plataforma de red. Aunado a lo anterior, se presentó de forma somera tópicos asociados a la configuración de dispositivos y aspectos avanzados de seguridad de datos.

Con el presente diseño de la plataforma de red se buscó potenciar el desarrollo de la municipalidad como *Smart City* y presentar una alternativa para solucionar la situación que presenta la ciudadanía en referencia al robo y hurto de vehículos. Sería criterio de una empresa, así como de las autoridades pertinentes, que deseen tomar la propuesta realizada por medio del tema en estudio, los detalles concernientes a la implementación, tales como la logística, recursos humanos, presupuesto, entre otros.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El presente capítulo presenta un análisis teórico en el cual se incluyen todas aquellas teorías o modelos pertinentes a la comprensión del tópico de estudio, tales como trabajos de investigación previos o antecedentes, fundamentos teóricos, así como bases legales, que enmarcan y respaldan la perspectiva bajo la cual se aborda la investigación y la definición de términos básicos.

Como el primer punto a desarrollar en el presente capítulo, se describen un grupo de investigaciones y artículos académicos que constituyen un marco de referencia a la investigación, en forma de sustento a la situación en estudio.

2.1 Antecedentes

Según Tamayo y Tamayo (2003): "Todo hecho anterior a la formulación del problema que sirve para aclarar, juzgar e interpretar el problema planteado, constituye los antecedentes del problema..." (p.143)

Tamayo y Tamayo (2003) también señala que: "En la presentación de antecedentes se busca aprovechar las teorías existentes sobre el problema con el fin de estructurar el marco metodológico. Debe estar en función del problema y ser un medio seguro para lograr los objetivos del mismo..." (p.143)

Con base a los enunciados anteriores, que otorgan una interpretación sobre lo que representan los antecedentes de una investigación, se presentan entonces a continuación aquellas fuentes seleccionadas cuyo contenido temático o metodológico suponen un contribución al tópico en estudio.

- **Wong (2015). IOT Standards and Frameworks**, artículo que describe el concepto de Internet de las cosas o *Internet of Things* (IoT), los elementos que suelen formar parte de este entorno como dispositivos de conexión inalámbrica y define marcos de operatividad basados en estándares.

Wong define un marco abierto y un marco basado en tecnologías específicas de fabricantes. En el marco abierto, se hace referencia a los estándares

existentes para redes inalámbricas de área personal (6LoWPAN). En los niveles inferiores del modelo, como a nivel de enlace de red, se especifica el estándar IEEE 802.15.4, mientras que en la capa de red se menciona el uso de IPv6 (RFC 4944, RFC 4862 y RFC 6775), protocolo de enrutamiento de vector distancia (RFC 1058 Y RFC 2080), seguidamente en capa de transporte UDP+DTLS (RFC 768, RFC 6347, RFC 4279, RFC 4492, RFC 3315 y RFC 5007) y por último la capa de aplicación. En el marco basado en tecnologías de fabricantes se mencionan como ejemplo *SmartMesh* de Linear Technology, Windows 10 IoT Core por parte de Microsoft y la solución IoT de Oracle, entre otros, haciendo énfasis que a pesar de que este tipo de marcos proveen todos los elementos necesarios para el desarrollo de soluciones IoT, se suelen diseñar en base a aplicaciones específicas como redes sensoriales de uso industrial, entre otros.

El enfoque utilizado por el autor para describir marcos de operatividad para la IoT tiene utilidad especial para el presente trabajo, ya que en primer lugar el concepto de IoT se encuentra vinculado a la *Smart City*, además el uso de estándares es importante para el establecimiento de modelos que busquen describir la interconexión de distintos elementos. Por último, permite obtener una referencia de tecnologías recientes dentro del campo de IoT.

Palabras clave: Internet de las cosas, estándares de redes, marcos de operatividad, tecnologías propietarias.

- **Chen, Syue y Tseng (2014). *Surveillance on-the-road: Vehicular tracking and reporting by V2V communications***, artículo en el cual se describe un modelo de “vigilancia en la ruta” que integra tecnologías de seguimiento con comunicaciones WAVE/DSRC (*Wireless Access in Vehicular Environments* o Acceso Inalámbrico en entornos vehiculares/*Dedicated Short Range Communications* o Comunicaciones dedicadas de corto alcance) para brindar soporte a aplicaciones de monitoreo vehicular y reporte. Señala

además elementos que suelen formar parte de este entorno como dispositivos de conexión inalámbrica y define marcos de operatividad basados en estándares.

Los autores utilizan la detección y seguimiento de vehículos sospechosos como un ejemplo y diseñan un marco de trabajo no basado en infraestructura consistente en dos módulos, seguimiento y reporte. Los vehículos operan de forma cooperativa por medio de comunicaciones V2V (*Vehicle to Vehicle*) para lograr el objetivo. Sin embargo, se destaca la descripción realizada de los autores de los módulos que componen la red de monitoreo vehicular propuesta: El módulo de seguimiento abarca los esquemas utilizados para la detección de vehículos, incluyendo el uso de cámaras para tomar el número de matrícula y la fotografía del vehículo, la comparación de la matrícula con una base de datos para detectar el estado como sospechoso, así como la modalidad de comunicaciones para pasar la información tomada del vehículo que realizó la captura a otro vehículo. Por otro lado, el módulo de reportes contiene los esquemas asociados a las interfaces necesarias para transmitir la información de monitoreo por medio de enlaces de comunicaciones V2V, o en su defecto, 3G/3.5G, guiando los flujos de mensajes por medio de algoritmos de búsqueda y decisión para el broadcast de los mensajes, evitando el flooding del tráfico en la red.

El enfoque utilizado por Chen y otros (2014) para describir un marco de trabajo para una red de monitoreo vehicular tiene utilidad especial para la presente investigación, ya que los elementos recogidos en los módulos de monitoreo y reporte definidos tienen importancia ya que son aplicables a otras plataformas de red que no impliquen comunicaciones V2V.

Palabras clave: Dedicated Short Range Communications (DSRC), License Plate Recognition (LPR), Red Vehicular, Video Vigilancia.

- **Sarmiento (2011). Las Ciudades Sustentables como tendencia de la Planificación Urbana apoyada en las tecnologías**, en el que se presenta como objetivo la definición de lineamiento conceptuales para el diseño de estrategias de desarrollo de las ciudades sustentables como tendencia de la planificación urbana, apoyada en las TIC.

La conceptualización de ciudad sustentable elaborada por Sarmiento guarda estrecha relación con el marco que rodea a la ciudad inteligente o *Smart City*, ya que propone el uso de las tecnologías de información y comunicaciones para otorgar mejoras a los servicios públicos en un entorno urbano. En concreto, la autora detalla desde el estado del arte de la ciudad sustentable, siguiendo con el estudio de la influencia de la participación ciudadana, así como de la influencia de las TIC, y finalmente identificando las características en la política pública en Venezuela que guardan relación con el desarrollo de ciudades sustentables y las buenas prácticas de un gobierno basado en tecnologías o gobierno electrónico. Entre los resultados más destacables se encuentran sugerencias desde la perspectiva de la planificación urbana que incentivan la planificación de la ciudad desde diversos ámbitos (social, político, económico, etc.) que tienen como base la sustentabilidad con el uso de las TIC. Sarmiento incluso indica: "... Ciudad Sustentable integral en aspectos sociales, económicos, políticos, ambientales, tecnológicos, educativos, culturales y participativos, que muy bien podría actuar como un modelo en red..." (p.174)

Este estudio aportó propuestas de interés en cuanto al desarrollo como *Smart City*, o ciudad sustentable con base a TIC como lo define la autora, de un entorno urbano, adaptables al diseño de modelos o plataformas tecnológicas que busquen el crecimiento de la ciudad desde esta perspectiva. De igual forma, se destaca el enfoque bajo el cual se considera que todos los elementos que forman parte de este tipo de ciudades pueden abstraerse en una estructura de red, ya que presenta relevancia para la representación

dentro de la plataforma diseñada de un entorno y situación específica de la ciudad, como el determinado por los elementos que se encuentran en el contexto de una incidencia de robo o hurto vehicular.

Palabras clave: Ciudad Sustentable, Planificación Urbana, Tecnologías de Información y Comunicación, Gobernanza Urbana y Globalización.

- **Fistola (2013).** *Smart City: riflessioni sull'intelligenza urbana*, artículo que describe algunas consideraciones sobre las dinámicas en el desarrollo de ciudades inteligentes por medio de la conceptualización de las relaciones entre nuevas tecnologías y cambios en el sistema urbano, las cuales deben ser consideradas para dar forma a una nuevo proceso de planeación regional.

En el presente artículo se define a la *Smart City* como una nueva dimensión urbana que debe ser construida a través de la inclusión de la innovación tecnológica en la arquitectura de la ciudad, la cual estará conformada por dimensiones de diferente sensibilidad: la social, representada por el capital humano y la tecnológica, representada por la innovación en los productos y servicios. Según Fistola, para el desarrollo de una ciudad que pueda considerarse una *Smart City* se deben tomar en cuenta en primer lugar tres elementos base: dimensión, organización y funcionamiento. Estas son las características que permiten la detección de los sistemas urbanos con predisposición a desarrollar el factor de inteligencia, para los que también hay algunas condiciones previas que guardan relación con la adopción de la innovación tecnológica dentro del proceso general de la evolución del sistema urbano. Esta innovación ocurre en el contexto de diferentes subsistemas, definidos como el subsistema físico (por ejemplo: infraestructura telemática, *Smart grid*, red de sensores del territorio urbano), subsistema funcional (por ejemplo: gobierno electrónico, acceso libre a Internet) y un subsistema socio-antrópico (por ejemplo: capital social,

crowdsourcing). Dichos subsistemas tienen su contraparte en las redes de comunicaciones de la ciudad en el *cloud* o la nube, siendo los sensores sociales y tecnológicos el vínculo de conexión entre las dimensiones necesarias para formar la *Smart City*.

El artículo se relaciona con el Trabajo Especial de Grado que se lleva a cabo en esta investigación, puesto que proporciona elementos bajo los cuales se pueden clasificar los componentes que son parte de una *Smart City* y las dimensiones bajo los cuales pueden definirse, orientándolos en este caso en base al establecimiento de una plataforma de red para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular.

Palabras clave: *Smart City*, Planificación urbana, TIC y Ciudad, Enfoque sistemático.

- **Herrera (2009). *Mesh: Una tecnología para disminuir la Brecha Digital*,** investigación a través de la cual se plantea un modelo que permite el acceso universal a la red en ciudades ubicadas en países en desarrollo como Caracas.

En el desarrollo del Trabajo de grado, Herrera analizó las tecnologías existentes en el acceso de última milla en el mercado venezolano, determinó los criterios bajo los cuales diferencia el modelo *Mesh*, definió el conjunto de productos y servicios que conforman el modelo e identificó los beneficios desde la perspectiva de la sociedad asociados a la implantación de *Mesh*. En el contexto de la investigación de Herrera, se entiende por una red *Mesh* (contemplada en el estándar IEEE 802.11s) como una red con arquitectura de malla que interconecta diversas WLAN (*Wireless LAN* o LAN inalámbricas) que forman en su conjunto una red inalámbrica de extensión WAN o WWAN, a través de enlaces redundantes que permiten el establecimiento de diferentes rutas.

En lo que respecta a los aportes más importantes de este trabajo, el autor menciona:

“El resultado más significativo de este estudio es que revela que la reducción de la brecha digital puede ser impactada positivamente aplicando políticas que garanticen el acceso fácil, adecuado y eficiente a los servicios de comunicación, y el desarrollo de las habilidades y los conocimientos de la población. Para lograr este objetivo es de vital importancia la integración de los gobiernos, las organizaciones sin fines de lucro, la iniciativa privada y los operadores de servicio de telecomunicaciones, en la búsqueda de nuevas opciones y esquemas de inclusión social que permitan mitigar este fenómeno.” (p.73)

Esta investigación se relaciona con ciertos aspectos del presente Trabajo Especial de Grado, puesto que la integración de los diferentes actores dentro de una ciudad inteligente, gobierno, servicios y ciudadanos, en el contexto de las redes conformadas a nivel municipal sólo será posible mediante un modelo o plataforma, desde la perspectiva de la infraestructura tecnológica, que establezca los elementos necesarios para la integración de las comunicaciones entre todos los mencionados. De igual forma, el trabajo de grado menciona diversos elementos de conectividad inalámbrica como nodos, puntos de acceso y puertas de enlace, que se toman en cuenta para la realización del diseño de dicha plataforma.

Palabras clave: Redes inalámbricas, innovación y conocimiento, Telecomunicaciones en Venezuela, Redes de acceso.

- **Canestraro, Pardo, Raup-Kounovsky, y Taratus (2009). *Regional telecommunication incident coordination: Sharing information for rapid response***, que en términos generales trata sobre el desarrollo de estrategias para generar una capacidad de respuesta ante diversas situaciones problemáticas de una municipalidad. Dichas estrategias están basadas en la coordinación regional de diversos involucrados, y el uso o asignación de recursos de maneras más eficientes y novedosas.

El artículo define a tres amplios grupos de involucrados: los ciudadanos, los proveedores de servicios de telecomunicaciones y las instituciones del gobierno. Estos tres grupos presentan perspectivas diferentes en el análisis de la importancia de la información asociada a incidentes o emergencias, ya que se distingue la importancia para la preparación, para la respuesta inmediata, para la recuperación y restauración de servicios, además de información para el público general. Teniendo en cuenta los grupos definidos, se plantean enfoques para el intercambio de información entre todos los involucrados. Se destaca el campo de la información para la respuesta inmediata, donde se detalla que su función debe ser permitir que las organizaciones e instituciones pertinentes evalúen las causas y consecuencias de un incidente, además de obtener conocimiento para el seguimiento continuo de la situación y la base para realizar el despliegue de los recursos necesarios. Finalmente, Canestraro, Pardo, Raup-Kounovsky, y Taratus realizan una serie de recomendaciones basadas en mejores prácticas, tales como el establecimiento de principios para la interoperabilidad, ganancia de conocimiento en los procesos de obtención de información y repuesta a incidentes, desarrollo de mejora en procesos, entre otros.

Este artículo aporta nociones de relevancia para la comprensión de las situaciones consideradas incidentes que requieren una respuesta, que en el caso de la presente investigación, corresponden al robo y hurto de vehículos y la respuesta a este evento debe derivar de la plataforma de red diseñada para el monitoreo vehicular.

Palabras clave: Telecomunicaciones, coordinación regional, intercambio de información entre organizaciones, confianza.

2.2. Fundamentos Teóricos

Los fundamentos teóricos hacen referencia al conjunto de nociones y bloques conceptuales necesarios para brindar un soporte, fundado en un lenguaje técnico uniforme y cohesivo, a la línea de estudio y lógica de análisis seguida para abordar el tema en estudio.

La finalidad es presentar de forma concreta y precisa todos aquellos planteamientos que sustentan la investigación mediante un enfoque que demuestre lo innovador o complementario que resulta cada argumento y elaborar, en cierta medida, una guía teórica al planteamiento de la solución del problema.

Diversas áreas del conocimiento forman parte de la construcción de los fundamentos teóricos de la presente investigación, tales como:

- *Smart City*.
- Internet de las cosas.
- Marco de sensibilidad al contexto.
- Respuesta a incidentes.
- Monitoreo de vehículos.
- Arquitectura de redes.
- Redes *Mesh*,
- Requerimientos del diseño de una red.
- Proyecto piloto de una red.
- Modelado y simulación de redes.

Con la finalidad de organizar tales teorías, se presenta en la figura 1 (ver página 21) el constructo de la investigación, herramienta que permite demostrar de forma gráfica y sintetizada el contenido que forma parte de los fundamentos teóricos de los diversos tópicos en estudio.

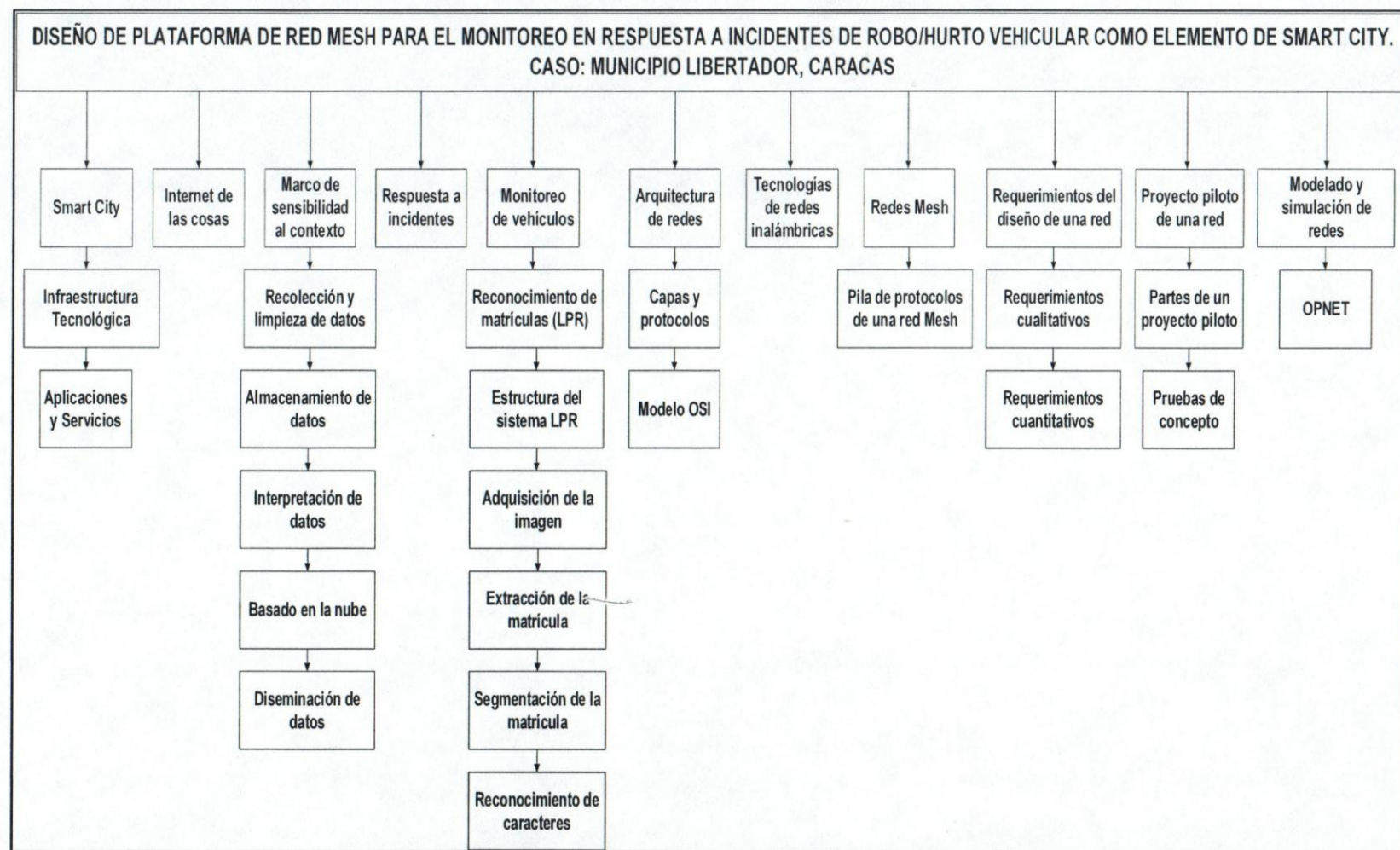


Figura 1. Constructo de la investigación.

2.2.1 Smart City o Ciudad Inteligente.

De acuerdo a Raj y Raman (2015), las ciudades necesitan cambiar notablemente su comportamiento y estructura para encajar de forma coherente con los indistintamente distinguidos y articulados ideales de un mundo más inteligente, lo cual conforma la visión proclamada y perseguida vigorosa y rigurosamente por las compañías líderes en el sector de las TIC hoy en día. Esta definición ambiciosa y de largo plazo de un mundo más inteligente es presentada como el siguiente paso lógico por los fabricantes de tecnologías y proveedores de servicios como relevante en su evolución. Entre los diferentes factores clave que motivan la popularidad de este concepto se encuentran las ciudades inteligentes.

Se puede definir una *Smart City* como un entorno urbano que surge de la combinación de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) con la infraestructura, arquitectura, una variedad de objetos cotidianos e incluso los seres humanos para potenciar la gestión y desarrollo de aspectos sociales, económicos y ambientales, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, incrementar la eficiencia de los servicios públicos y otorgar un alto factor de competitividad a la ciudad a nivel mundial. (Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) Grupo Temático sobre Ciudades inteligentes y sostenibles, 2014)

Las ciudades a nivel mundial requieren de transformaciones importantes y persistentes, que según Raj y Raman (2015), se pueden delimitar en dos grandes aspectos: el modelo de operación de la ciudad y el aprovechamiento de la información, además de la mejora de la experiencia de los usuarios con respecto a los servicios de la ciudad. Los autores citados indican que los siguientes cinco factores son altamente aceptados como los promovedores de la renovación de la ciudad:

- Optimización de la infraestructura.
- Adaptación y adopción tecnológica.
- Excelencia de los procesos.

- Asimilación de la arquitectura.
- Dar sentido a los datos y utilizándolos en pro de la eficiencia de la ciudad.

2.2.1.1 Infraestructura Tecnológica de una *Smart City*

La infraestructura hace referencia tanto al hardware, como servidores, almacenamiento, soluciones de red y dispositivos específicos, entre otros, así como a las diferentes soluciones de software. Según un reporte de Alcatel-Lucent (2012), los siguientes cuatro elementos son necesarios para establecer la infraestructura tecnológica de una ciudad inteligente:

- Una infraestructura de red basada en IP: la infraestructura para la red basada en el protocolo IP debe considerarse durante una etapa de planificación o diseño, y debe ser parte, para la mayor repercusión, del plan maestro de desarrollo. Las distintas edificaciones deben interconectarse durante su construcción para posteriormente controlar todas las utilidades con la incorporación de elementos tales como *switches* y *routers*.
- Comunicaciones convergentes: La infraestructura de red habilita a los servicios fundamentales de la ciudad, entregando telefonía, acceso de banda ancha a Internet, y video sobre demanda en una única plataforma de red.
- Soluciones de software basadas en plataforma e infraestructura: Permitir que cada elemento se comporte de forma inteligente es el objetivo principal. Una variedad de soluciones de software (sistemas de gestión ambiental, sistemas de movilidad y transporte, edificios inteligentes, *Smart grids*, etc.) necesitan ser identificados e incorporados. Este tipo de soluciones basadas en software son los principales diferenciadores para que los entornos de próxima generación sean amigables para los usuarios.
- Servicios cognitivos para los ciudadanos: Una vez que las infraestructuras y plataformas de software se encuentran preparadas, entonces tanto desarrolladores de aplicaciones técnicamente competentes en asociación con usuarios finales pueden crear una gran variedad de aplicaciones centradas en las personas, provistas por medio de redes en entornos locales o de nube (*cloud*) remota. Finalmente, servicios y aplicaciones son

incorporados para el intercambio de información, cuidado de la salud, educación, entretenimiento, cultura, comercio, servicios públicos, seguridad, transporte, energía, entre otros.

De forma que un entorno adaptativo con base a una red de comunicaciones unificadas constituye la infraestructura base que permite conectar ciudades enteras. En la figura 2 que se presenta a continuación se muestra un ejemplo de infraestructura tecnológica de servicios en una *Smart City*, propuesto por la empresa Hitachi.



Figura 2. Ejemplo de infraestructura, solución de *Smart City* de Hitachi.
Fuente: Raj y Raman (2015, p. 35)

2.2.1.2 Aplicaciones y Servicios Redimensionados en la *Smart City*.

La infraestructura de red basada en IP requerida para comunicaciones ubicuas en toda la ciudad, interconectando una diversa cantidad de dispositivos por medio de enlaces tanto fijos como inalámbricos soportara una diversidad de servicios y aplicaciones en la *Smart City*. Según Dunkels y Vasseur (2010), las siguientes son algunos ejemplos de dichas aplicaciones y servicios:

- Transporte: Gestión de flujo vehicular, control de velocidad, carga de tráfico, monitoreo de vehículos, seguridad de los pasajeros, gestión de estacionamientos.
- Seguridad pública: Sistemas de control de acceso, monitoreo de alarmas, avisos de emergencia, gestión de incidencias.
- Servicios para la ciudadanía: Monitoreo remoto de pacientes, gestión de historial de pacientes, redes con fines educativos/aprendizaje.
- Servicios públicos: Gestión de servicios públicos (por ejemplo: energía, agua potable, etc.), control del clima, generación de energía y gestión del almacenamiento, detección de fugas de agua/gas, y gestión de redes.
- Ambiente: Monitoreo y recolección de datos (por ejemplo: ruido, contaminación, etc.).
- Redes sociales.

2.2.2 Smart City e Internet de las Cosas.

La Internet de las cosas o IoT (por sus siglas en inglés, Internet of Things) tiene un conjunto de beneficios que puede ofrecer a municipalidades de cualquier tipo y tamaño. En un sentido amplio, se entiende por Internet de las cosas como la interconexión de dispositivos computarizados embebidos inequívocamente identificables. Esto significa que cualquier dispositivo que se pueda conectar, no solo computadoras, sino cualquier tipo de dispositivo sensorial y de monitoreo también. La interconexión de dichos dispositivos puede tomar lugar sobre la infraestructura de Internet existente, por lo cual ésta se considera la base, no obstante, no solo pueden utilizar la Internet como soporte, sino también otras tecnologías de red, incluyendo redes inalámbricas privadas, entre otras. (Miller, 2015)

En esencia, según Miller (2015) una "cosa" en la IoT puede ser tan amplio como para contener un transmisor inalámbrico (empleando Wi-Fi, Bluetooth, o cualquier otro protocolo de interconexión inalámbrica) y lo suficientemente único para ser asignársele su propia dirección IP. Esto puede incluir algo tan pequeño como un clip de papel o tan grande como una casa. La IoT puede conectar:

- Dispositivos electrónicos del hogar, como las llamadas televisiones inteligentes y servidores multimedia.
- Electrodomésticos, como refrigeradores, hornos y lavadoras inteligentes.
- Automóviles, incluyendo vehículos con piloto automático.
- Dispositivos para la automatización, como medidores de temperatura, detectores de humo y sistemas de alarma.
- Pueblos, ciudades y naciones, en referencia a todo aquello que pueda ser monitoreado y controlado en un entorno urbano.

La mayoría de los dispositivos conectados a la IoT son realmente dispositivos simples comúnmente referidos como dispositivos inteligentes. Los dispositivos como tal no necesariamente son inteligentes por su cuenta, sino que se vuelven inteligentes cuando se conectan a otros dispositivos. De forma que en la IoT, cada dispositivo obtiene un valor adicional al que posee por sí solo. Cualquier dispositivo puede conectarse a otros elementos relevantes y/o cercanos para compartir datos recolectados, esto crea lo que los expertos llaman inteligencia del ambiente, que se traduce en una cantidad de dispositivos trabajando en grupo para llevar a cabo diversas actividades y tareas utilizando la información e inteligencia contenida dentro de la red. Todo esto sucede en segundo plano, automáticamente, sirviendo las necesidades de los seres humanos sin requerir ningún tipo de interacción. (Miller, 2015)

En resumen, las tecnologías que forman parte de un entorno IoT, de acuerdo a Miller (2015), son:

- Dispositivos que contienen
 - Sensores embebidos que capturan o generan datos.
 - Transmisores inalámbricos o receptores que conectan a una red más amplia.
- El backbone de la red, a la que todos los dispositivos se conectan por medio de diversas tecnologías inalámbricas.
- Aplicaciones de software que:

- Analizan y procesan todos los datos recolectados
- Inician acciones apropiadas.

En la figura 3 se muestra un esquema que ilustra las tecnologías mencionadas dentro del marco del IoT.

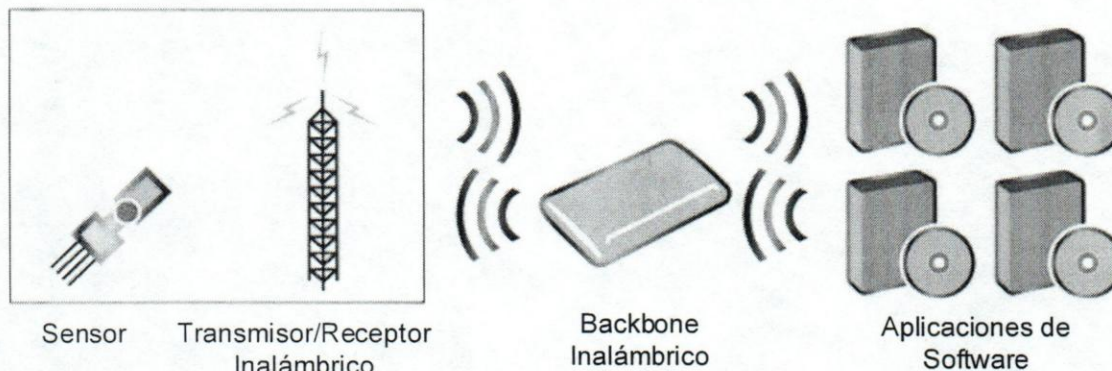


Figura 3. Las tecnologías en la Internet de las cosas.
Fuente: Miller (2015, p. 34)

La mayoría de los dispositivos conectados a la IoT son realmente dispositivos simples comúnmente referidos como dispositivos inteligentes. Los dispositivos como tal no necesariamente son inteligentes por su cuenta, sino que se vuelven inteligentes cuando se conectan a otros dispositivos. De forma que en la IoT, cada dispositivo obtiene un valor adicional al que posee por sí solo. Cualquier dispositivo puede conectarse a otros elementos relevantes y/o cercanos para compartir datos recolectados, esto crea lo que los expertos llaman inteligencia del ambiente, que se traduce en una cantidad de dispositivos trabajando en grupo para llevar a cabo diversas actividades y tareas utilizando la información e inteligencia contenida dentro de la red. Todo esto sucede en segundo plano, automáticamente, sirviendo las necesidades de los seres humanos sin requerir ningún tipo de interacción. (Miller, 2015)

Como un campo relacionado con la IoT, la *Smart City* opera por medio de los datos recolectados por dispositivos inteligentes de una variedad de formas y tamaños. Todos estos datos pueden ser utilizados para mejorar la gestión de los gobiernos

locales, incrementar el conocimiento del público con respecto a la ciudad, y estimular las actividades llevadas a cabo en diversos sectores, como los definidos en el punto 2.2.1.2.

2.2.3 Marco de Sensibilidad al Contexto para Aplicaciones de *Smart Cities*.

Existen tecnologías sensoriales, perceptivas, visuales, de extrapolación de conocimiento y de consecuente actuación, surgiendo para crear y mantener entornos sensibles al contexto dentro de una ciudad. Los ciudadanos requieren acceder a todo tipo de información, transacciones comerciales, conocimiento y servicios físicos en relación a su situación (ubicación, espacio, etc.), así como al respecto de sus diferentes necesidades (mentales, físicas, sociales, etc.). Las aplicaciones de software, servicios basados en la nube, dispositivos de usuario, puertas de enlace de comunicaciones y dispositivos middleware, objetos digitalizados e interconectados, y demás están contribuyendo de forma colectiva a la rápida implementación y entrega de servicios sensibles al contexto a los usuarios. El marco de trabajo, el cual posee cinco módulos, es presentado en la figura 4 a continuación. (Raj y Raman, 2015)



Figura 4. Marco de sensibilidad al contexto para aplicaciones de *Smart Cities*.

Fuente: Raj y Raman (2015, p. 37).

2.2.3.1 Recolección y Limpieza de Datos.

Este es un componente fundamental para la recolección cuidadosa de datos provenientes de fuentes distribuidas y diversas. Con el continuo crecimiento de los generadores y extractores de datos (sensores, teléfonos inteligentes, sitios sociales, empresariales así como nubes de datos, dispositivos e instrumentos de laboratorios de investigación, máquinas desplegadas en plantas de manufactura, etc.), datos de múltiples formatos y presentaciones son recolectados en la actualidad. Además, dichos datos necesitan ser sometidos a una serie de tareas tales como la transformación y limpieza para que sean compatibles con el medio de almacenamiento de destino. (Raj y Raman, 2015)

2.2.3.2 Almacenamiento de Datos

Una vez que los datos son pulidos, estos son debidamente almacenados en una infraestructura con facilidad de acceso y por medio de una estructura definida como una base de datos, cubo de datos, almacén de datos, entre otros. Esto permite a los usuarios realizar búsquedas en el almacén de datos para obtener información veraz y relevante para planificar con anticipación y proceder con claridad y confianza. Es un tipo de procesamiento por lotes y mecanismo de extracción. Disección, generación de reportes y otros tipos de operaciones a nivel macro y micro pueden lograrse por medio de los datos almacenados para generar información utilizable. (Raj y Raman, 2015)

2.2.3.3 Interpretación de Datos

Por otro lado, a medida que los datos son distribuidos a diferentes entornos, la información sensible al contexto necesita ser recogida y despachada a los individuos que la requieren por medio de una variedad de dispositivos, pantallas, y demás; monitoreo centralizado; sistemas de medición y control; cualquier tipo de sistemas para la acción, entre otros. Esto es, el funcionamiento de un mecanismo competente para la interpretación de datos en tiempo real para la extracción de los detalles de la situación para la consecuente respuesta. El descubrimiento de conocimiento es un componente crucial en un entorno sensible al contexto. Existe

una necesidad en torno a la disponibilidad de bases de conocimiento especiales, repositorio de reglas/políticas, y otras soluciones viables para facilitar la interpretación precisa de datos entrantes de forma casi instantánea. (Raj y Raman, 2015)

2.2.3.4 Basado en la Nube.

El marco de sensibilidad al contexto presenta un módulo para permitir conectividad basada en la nube. Actualmente, los sensores y demás dispositivos en los entornos urbanos están conectados no solo con otro elemento cercano, pero también con un conjunto de aplicaciones almacenadas en ubicaciones remotas, servicios y datos en ambientes de nube. Los dispositivos en lugares físicos se encuentran potenciados por medio de descargas dinámicas de todo tipo de servicios habilitantes e instalando y configurándose para ser altamente relevantes. (Raj y Raman, 2015)

2.2.3.5 Diseminación de Datos.

Los requerimientos basados en conocimiento necesitan ser empaquetados y compartidos entre los usuarios en un formato de preferencia y presentable. Reportes, mapas y gráficos son los principales mecanismos para compartir información. La visualización de datos es un tópico que comprende un conjunto de técnicas, herramientas y mejores prácticas para facilitar la diseminación del conocimiento de forma oportuna para los usuarios. (Raj y Raman, 2015)

2.2.4 Respuesta a Incidentes.

La sensibilidad al contexto es un criterio importante para los servicios de las ciudades. Estos servicios se encuentran enfocados a dar respuesta a los incidentes que se desarrollan en la municipalidad. Se entiende por incidente a los eventos que pueden ocurrir en el contexto de un entorno, como una ciudad, que supongan un cambio notable del equilibrio presente en el ambiente, incluyendo fenómenos naturales tales como terremotos, tsunamis, inundaciones, huracanes, así como eventos provocados por seres humanos, como bombardeos, alteración del orden social, robo, hurto, entre otros.

De forma que el Marco de sensibilidad al contexto para aplicaciones de *Smart Cities* debe satisfacer un ciclo de gestión de desastres o incidencias. Bharosa (2011) define un ciclo de gestión de desastres o incidencias, ilustrado en la figura 5.

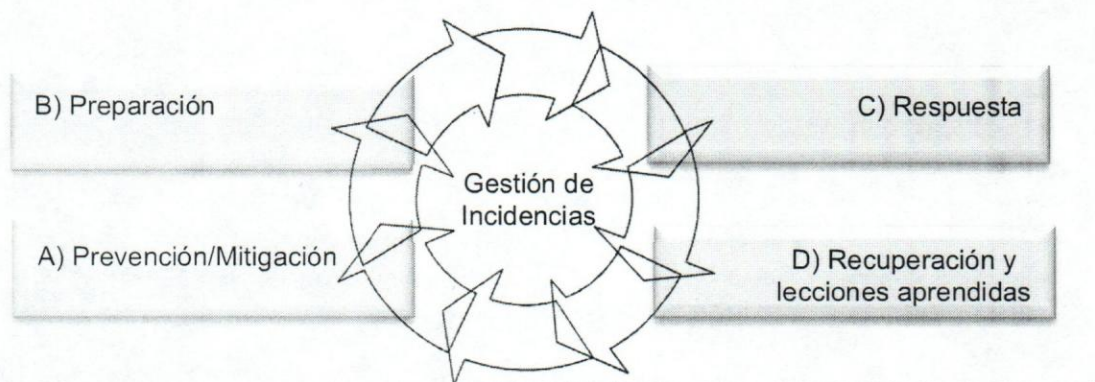


Figura 5. Ciclo de gestión de incidentes.
Fuente: Bharosa (2011, p. 16)

Bharosa (2011) define cada elemento del ciclo de la siguiente forma:

- **Prevención/mitigación:** Está referido a las acciones a desarrollarse antes de ocurrir la incidencia para identificar riesgos, reducir estos y por consiguiente, controlar los efectos negativos del tipo identificado de incidente en la vida humana y propiedad personal.
- **Preparación:** Está relacionado a las acciones que deben tomarse en relación a una posible incidencia que permita habilitar a los gestores de sistemas de respuesta y al público para responder adecuadamente cuando una incidencia ocurre.
- **Respuesta:** Es la fase que empieza cuando se dispara un incidente. En este punto, las organizaciones competentes utilizan sus recursos y esfuerzos para minimizar el daño al entorno, propiedades y ciudadanos. A lo largo del tiempo, el riesgo de daño adicional disminuye y las organizaciones entran en la fase final del ciclo, recuperación.
- **Recuperación:** Consiste en aprender de los eventos de forma interna en la organización y gestionar el aprendizaje obtenido para su aplicación en los

eventos o incidentes que ocurran de forma externa, recuperando el equilibrio previamente alterado.

2.2.5 Monitoreo o Identificación de Vehículos.

Con monitoreo o identificación de vehículos se describe al sistema sensible al contexto capaz de tomar información de un vehículo para su posterior análisis con respecto a una fuente de información, cuyo resultado permite determinar un proceso o ciclo de respuesta a incidente. Un sistema de monitoreo o identificación de vehículos puede funcionar presentando como base un mecanismo de reconocimiento de placas o matrículas o LPR (por sus siglas en inglés, License Plate Recognition).

2.2.5.1 Reconocimiento de Matrículas (LPR).

Según Jameel y Sarfraz (2005), el reconocimiento de matrículas (LPR) es un tipo de sistema de identificación automática de vehículos. Un LPR ejecutándose en tiempo real juega un papel importante en el monitoreo automático del tráfico y en la gestión de la aplicación de la ley en rutas públicas. Esta área presenta dificultades ya que requiere de la integración de diversos solucionadores de problemas basados en visión computacional, lo que incluye detección de objetos y reconocimiento de caracteres. La identificación automática de vehículos con base a los contenidos de sus placas o matrículas es importante para aplicaciones de transporte. Existen numerosas aplicaciones de tales sistemas de reconocimiento, algunas de ellas son: control de paso fronterizo, identificación de vehículos robados, asistentes de estacionamiento automático, vigilancia en estaciones de gasolina, control de límites de velocidad, seguridad e identificación del cliente como habilitador de servicios personalizados.

2.2.5.2 Estructura de un Sistema LPR Típico.

Jameel y Sarfraz (2005) describen un sistema típico LPR diseñado para reconocer placas o matrículas de la parte frontal y trasera de un vehículo. La entrada al sistema es una imagen conteniendo la placa adquirida por una cámara digital, y la salida son

los caracteres en la placa. El sistema consta de cuatro módulos: adquisición de imágenes, extracción de la placa o matrícula, segmentación y reconocimiento de caracteres individuales. La estructura del sistema se muestra en la figura 6.

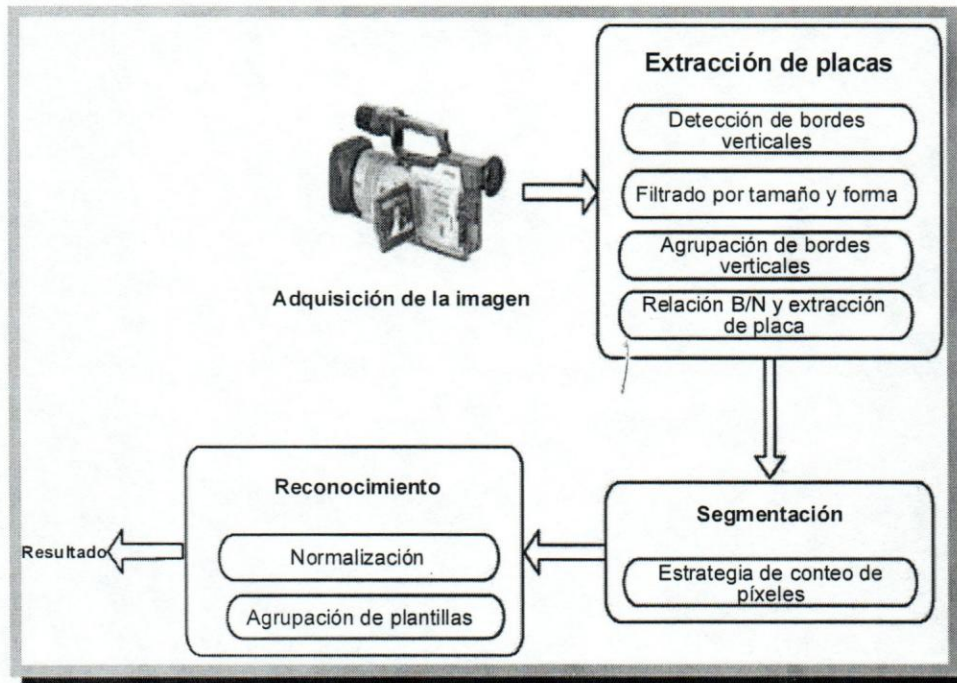


Figura 6. Estructura de un sistema de reconocimiento de placas (LPR).

Fuente: Jameel y Sarfraz (2005, p. 21)

La primera actividad consiste en adquirir la imagen de un vehículo que presenta la placa o matrícula. Seguidamente, se extrae la región que contiene la placa. La tercera fase consiste en aislar los caracteres y por último, identificar los caracteres de forma individual. (Jameel y Sarfraz, 2005)

2.2.5.3 Adquisición de la Imagen.

Ésta es la primera fase del sistema LPR descrito por Jameel y Sarfraz (2005). Existen básicamente tres formas de adquirir una imagen, según los autores:

- Utilizando una cámara analógica convencional y un escáner.
- Utilizando una cámara digital.
- Utilizando una cámara de vídeo y un captador de fotogramas o cuadros (tarjeta de captura) para seleccionar un cuadro.

El primer método, utilizando una cámara analógica convencional es claramente no apropiado para un sistema LPR ya que consume mucho tiempo y es poco práctico. El segundo método, utilizando una cámara digital, es más práctico, costo-efectivo y confiable. El tercer método, que implica el uso de una cámara de video con captador de cuadros, es apropiado para procesamiento en tiempo real. (Jameel y Sarfraz, 2005)

2.2.5.4 Extracción de la Placa o Matrícula.

La extracción de la placa o matrícula es un paso clave en cualquier sistema LPR, ya que influye directamente de forma significativa en la precisión del sistema. El objetivo de esta fase es, dada una imagen de entrada, producir un número de regiones candidatas con altas probabilidades de contener una placa o matrícula. (Jameel y Sarfraz, 2005). En la figura 7 se ilustra este proceso:

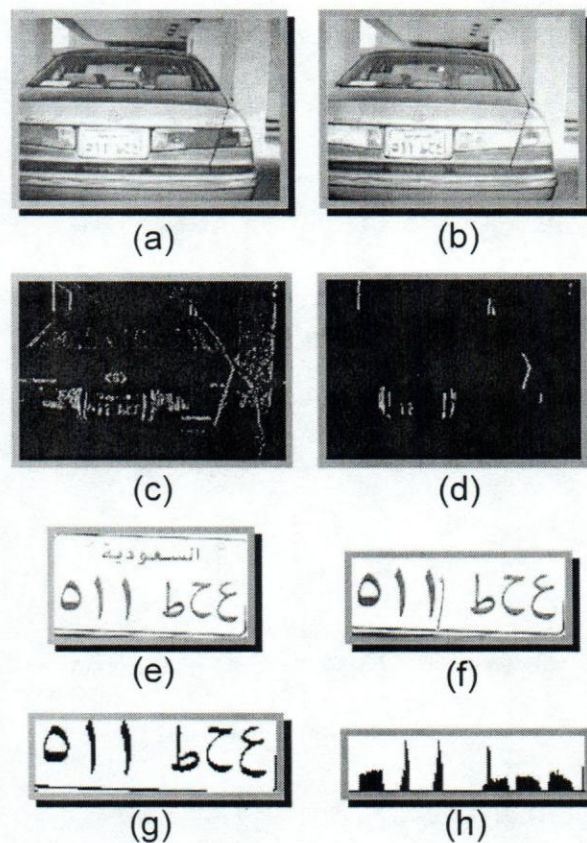


Figura 7. Resultados de la extracción de placas en diferentes etapas.

Fuente: Jameel y Sarfraz (2005, p. 22)

Las etapas descritas en la figura 7, según Jameel y Sarfraz (2005), son las siguientes:

- a. Imagen original.
- b. Imagen en escala de grises.
- c. Bordes verticales.
- d. Regiones de bordes verticales.
- e. Placa o matrícula extraída.
- f. Placa o matrícula cortada.
- g. Imagen binaria.
- h. Histograma correspondiente a la imagen binaria.

2.2.5.5 Segmentación de la Placa o Matrícula.

Después de la fase de extracción, la placa o matrícula es segmentada en caracteres individuales. Para facilitar el proceso de identificación de caracteres, la placa es preferiblemente dividida en un conjunto de imágenes, una por cada carácter. En la aplicación desarrollada por Jameel y Sarfraz (2005), se divide en seis imágenes ya que las placas de Arabia Saudita consisten en seis caracteres, con tres letras y tres números. La estrategia propuesta para el proceso de segmentación está basada en proyecciones verticales y el conteo del número de píxeles en cada columna. Posteriormente, la imagen cortada, dejando afuera cualquier otro elemento no relacionado, luego es convertida en forma binaria y se realizan proyecciones verticales (Jameel y Sarfraz, 2005)

2.2.5.6 Reconocimiento de Caracteres.

De acuerdo a Jameel y Sarfraz (2005), esta es la última fase de un sistema LPR. Esta fase se encuentra dividida en dos etapas:

- Normalización de caracteres individuales. En esta etapa, los caracteres extraídos son retocadas para encajarlas en una ventana sin espacios blancos en todos sus lados y posteriormente, el tamaño es normalizado a unas dimensiones específicas (por ejemplo, 40x40).

- Reconocimiento por medio de coincidencia de la plantilla: En esta etapa, las plantillas son normalizadas a un tamaño de 40x40 píxeles y almacenadas en la base de datos. El carácter extraído, después de la normalización, se compara con todos los caracteres en la base de datos. La coincidencia de cada carácter extraído se encuentra por comparación con los caracteres originales en la base de datos, y el carácter con el menor valor de desajuste es tomado como el carácter reconocido.

2.2.6 Arquitectura de Redes.

Una plataforma de monitoreo vehicular en el contexto de la tecnología que soporta una *Smart City* requiere el diseño de un modelo de red que contemple una serie de elementos. Para gestionar la complejidad resultante, se han desarrollado planos generales, generalmente llamados arquitecturas de red, que guían el diseño de la red. (Davie y Peterson, 2012)

De acuerdo a Davie y Peterson (2012) la abstracción, el proceso de ocultar detalles detrás de una interfaz definida, es la herramienta fundamental utilizada por los diseñadores para gestionar la complejidad. La idea de la abstracción es definir un modelo que pueda capturar algunos de los aspectos más importantes del sistema, encapsular dicho modelo en un objeto que provea una interface que pueda ser manipulada por otros componentes del sistema, y esconder detalles de cómo el objeto es implementado.

2.2.6.1 Capas y Protocolos.

Las abstracciones naturalmente conducen a las capas, especialmente en sistemas de redes. La creación de capas comprende dos características beneficiosas: en primer lugar descompone el problema de construir una red en componentes más fácilmente manejables. En vez de implementar un pedazo monolítico de sistema que realiza todo lo que se desea, se pueden implementar diversas capas, cada una capaz de resolver una parte del problema. En segundo lugar, provee un diseño más modular. Si se decide que se desea incorporar una nueva característica o servicio,

solo se tiene que modificar la funcionalidad en una capa, reutilizando las funciones provistas por otras capas. (Davie y Peterson, 2012)

Desde la perspectiva más sencilla, las capas de una red comprenden desde el software hasta los niveles de hardware inferiores. Un ejemplo de una arquitectura de red por capas se presenta en la figura 8.

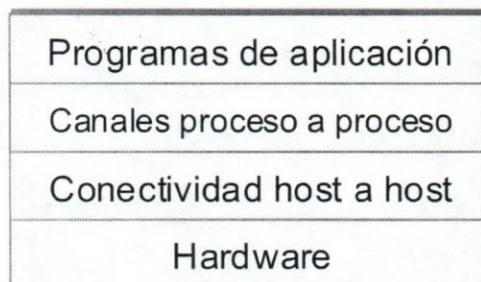


Figura 8. Ejemplo de un sistema de red por capas.
Fuente: Davie y Peterson (2012, p. 25)

Los objetos abstractos que conforman las capas de un sistema de red se conocen como protocolos. De forma que, un protocolo provee un servicio de comunicación que objetos de mayor nivel (como procesos de aplicación, o tal vez protocolos en capas superiores) utilizan para intercambiar mensajes. (Davie y Peterson, 2012)

Conforme a Davie y Peterson (2012), los protocolos definen dos interfaces:

- Interfaz de servicio: Con respecto a otros objetos en el mismo sistema que desean utilizar sus servicios de comunicaciones. La interfaz de servicio define las operaciones que los objetos locales deben llevar a cabo en el protocolo.
- Interfaz entre pares: Con respecto a su contraparte (par o peer) en el otro sistema. Esta segunda interface define la forma y significado de los mensajes intercambiados entre protocolos pares para implementar el servicio de comunicación. Esto determina la forma en que un protocolo de solicitud/respuesta en un sistema se comunica con su par en otro sistema.

Un ejemplo gráfico que ilustra la comunicación entre protocolos se muestra en la figura 9.

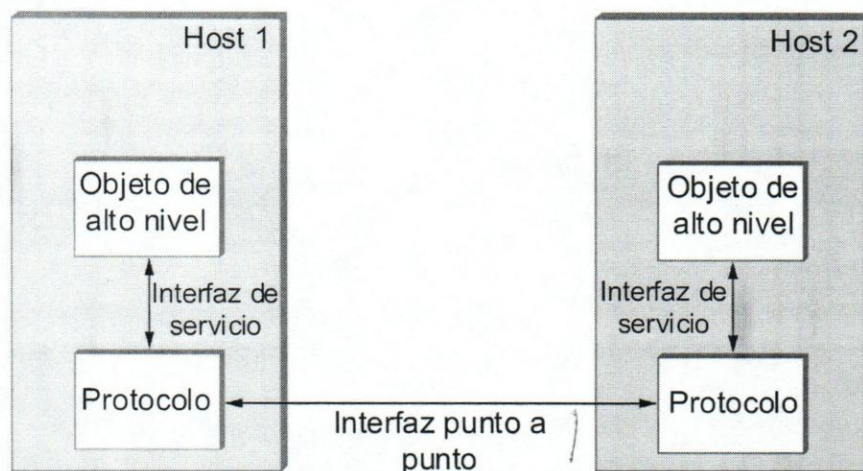


Figura 9. Ejemplo de comunicación entre protocolos.
Fuente: Davie y Peterson (2012, p. 25)

2.2.6.2 Modelo OSI.

La Organización Internacional de Normalización o ISO (por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization) fue una de las primeras organizaciones en definir formalmente una forma común de comunicar sistemas. Su arquitectura, llamada el modelo de interconexión de sistemas abiertos u modelo OSI (por sus siglas en inglés, Open System Interconnection) define la partición de la funcionalidad de la red en siete capas, donde uno o más protocolos implementan la funcionalidad asignada a una capa específica. En este sentido, el modelo no es un esquema o pila de protocolos, sino más bien un modelo de referencia para un esquema o pila de protocolos. (Davie y Peterson, 2012)

Las siete capas del modelo OSI y la forma en que se comunican se ilustran a continuación en la figura 10. A saber, las siete capas son: Aplicación, Presentación, Sesión, Transporte, Red, Enlace de datos y Física.

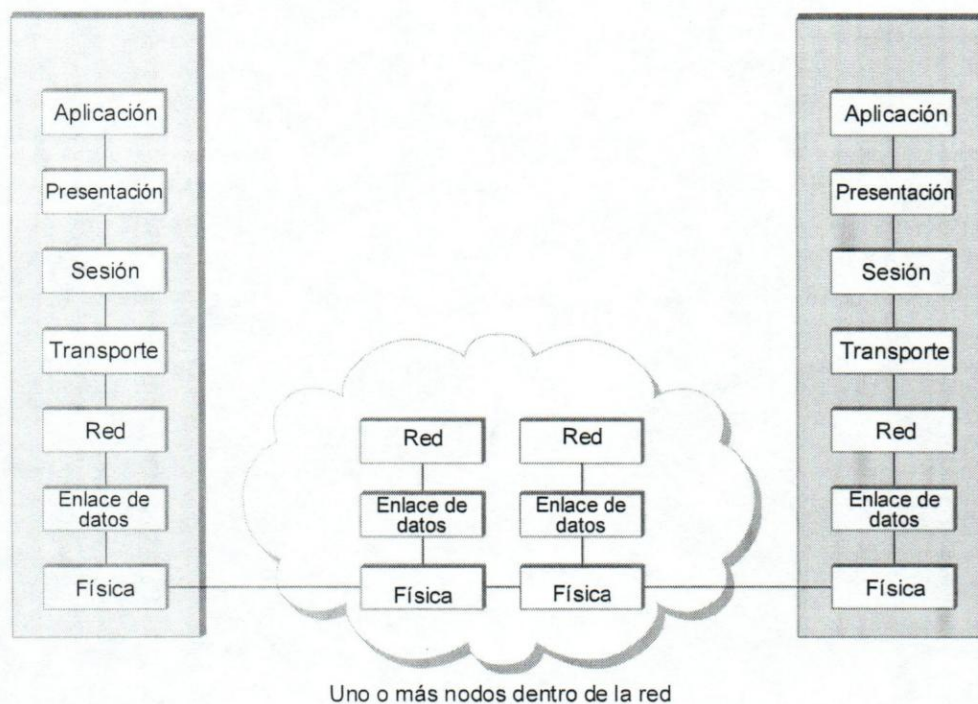


Figura 10. El modelo OSI de siete capas.
Fuente: Davie y Peterson (2012, p. 32)

Davie y Peterson (2012) definen las siete capas, empezando de abajo hacia arriba, de la siguiente manera:

- Capa física: Es aquella que maneja la transmisión de bits en crudo sobre un enlace de comunicación cableado o inalámbrico.
- Capa de enlace de datos: Agrupa un flujo de bits en un agregado de mayor tamaño conocido como trama. Los adaptadores de red, el control de acceso al medio, así como el direccionamiento físico de los nodos, típicamente se implementan en esta capa. Esto significa que las tramas, no los bits, son los que se entregan a los hosts.
- Capa de red: Maneja el enrutamiento entre los nodos en una red de conmutación de paquetes. En esta capa, la unidad de los datos intercambiados es usualmente llamada paquete y no trama.
- Capa de transporte: Es la capa cuya unidad de datos intercambiados es generalmente llamado mensaje. La capa de transporte y sus superiores

usualmente se ejecutan únicamente en los Hostos finales y no en los dispositivos intermediarios de la red como *switches* y *routers*.

- Capa de sesión: Se encarga de proveer un espacio que es utilizado para unir juntos los potenciales flujos de transporte diferentes que son parte de una sola aplicación, creando una sesión entre aplicaciones.
- Capa de presentación: Se ocupa del formato en que los datos son intercambiados entre pares. Por ejemplo, si un entero tiene longitud de 16, 32 o 64 bits, si el byte más significativo se transmite primero o de último, etc.
- Capa de aplicación: Es donde los servicios que proporciona la red y sus protocolos correspondientes residen. Entre algunos ejemplos se tiene el protocolo HTTP, SMTP y FTP, etc.

2.2.7 Tecnologías de Redes Inalámbricas.

El medio físico por el cual se transmiten datos en un sistema de comunicaciones puede ser básicamente un medio guiado o no guiado. Un medio no guiado o inalámbrico es aquél por el cual se transmite señales a través del aire en frecuencias específicas.

Según Kurose y Ross (2013) los elementos de una red inalámbrica son los siguientes:

- Hosts inalámbricos: Son los dispositivos finales que ejecutan aplicaciones. Un host inalámbrico puede ser una laptop, computadora portátil o de escritorio, etc. Los hosts pueden o no ser portátiles.
- Enlaces inalámbricos: Un host se conecta a otros elementos por medio de un enlace de comunicaciones inalámbrico. Diversas tecnologías de enlaces inalámbricos presentan diferentes tasas de transmisión y pueden transmitir en coberturas determinadas. En la figura 11 se presenta un conjunto de estándares populares para el establecimiento de enlaces inalámbricos en base a las características clave mencionadas, área de cobertura y tasa de transmisión de datos.

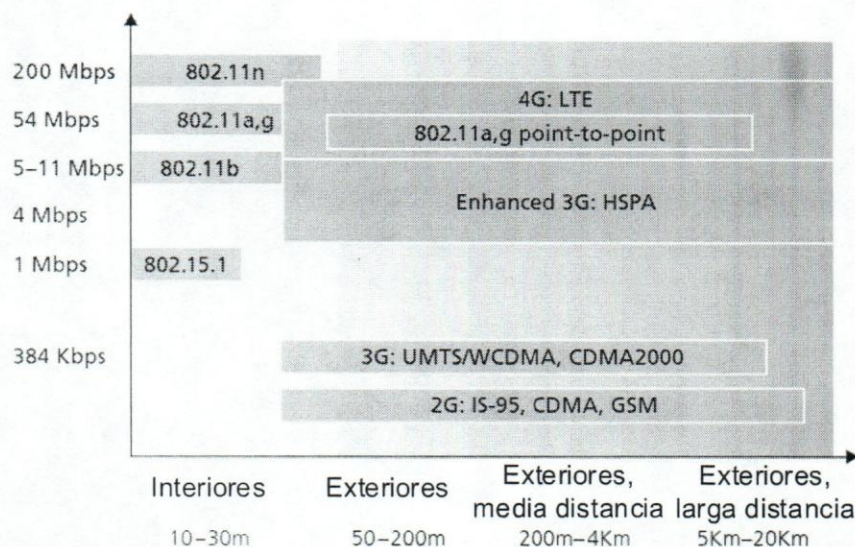


Figura 11. Características de algunos estándares de enlaces inalámbricos.

Fuente: Kurose y Ross (2013, p. 517)

- Estación base: La estación base es un componente clave de la infraestructura una red inalámbrica. Una estación base es responsable de enviar y recibir datos (por ejemplo, paquetes) hacia y desde un host inalámbrico que está asociado a esa estación base. Una estación base usualmente será la responsable de coordinar la transmisión de múltiples hosts inalámbricos con los cuales se encuentra asociado. Por “asociado” se entiende:
 - Al host que está dentro de la distancia inalámbrica cubierta por la estación base.
 - Al host que utiliza la estación base para retransmitir datos entre él y la red.

Las estaciones radio base en redes celulares y los puntos de acceso (AP) en redes inalámbricas LAN (WLAN) 802.11 son ejemplos de estaciones base.

- Infraestructura de red: Es la red completa con la cual cada host inalámbrico establece comunicación.

En la figura 12 se presenta un ejemplo de los elementos que conforman una infraestructura de red inalámbrica.

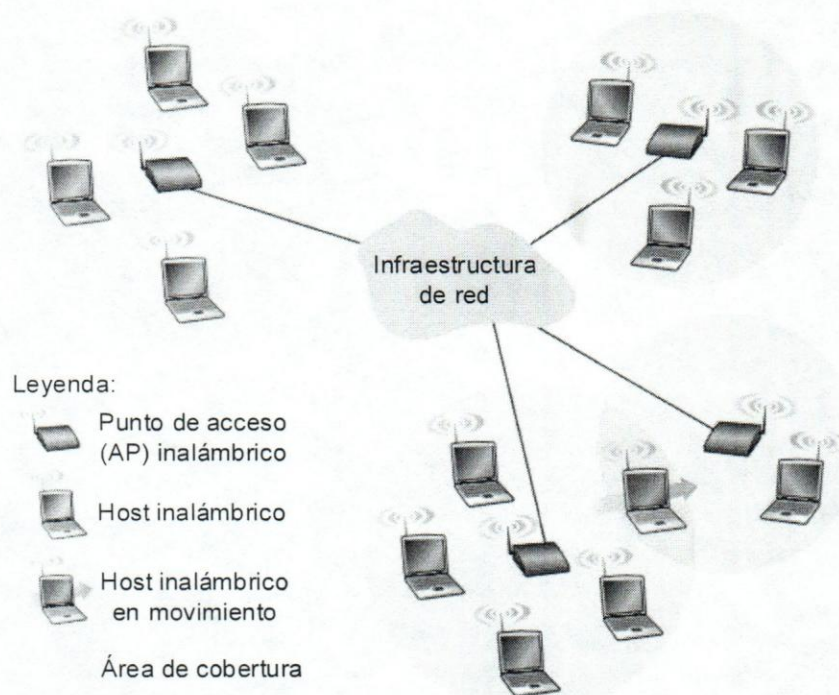


Figura 12. Elementos que conforman una red inalámbrica.
Fuente: Kurose y Ross (2013, p. 516)

2.2.8 Redes *Mesh*.

Uno de los mayores problemas que los diseñadores de redes WLAN encuentran es la cobertura. De hecho, el típico rango de comunicaciones de un radio IEEE 802.11 es de máximo 100 m (usualmente menos en entornos al aire libre), implicando que muchos AP deben ser desplegados para cubrir un área grande. Por ejemplo, cientos de puntos de acceso son generalmente requeridos para proveer conectividad a Internet tanto en las afueras como dentro de las edificaciones de un campus universitario de dimensiones medianas. Considerando que en la arquitectura típica WLAN los puntos de acceso inalámbricos requieren estar conectados de forma cableada a una puerta de enlace a Internet, la logística y los altos costos de establecer el cableado de una WLAN relativamente grande y dispersa puede volverse un problema. Para solucionar esta situación, el grupo de trabajo IEEE 802.11 ha lanzado una versión del estándar llamado IEEE 802.11s, que permite la creación de una red *Mesh* o malla. (Santi, 2012)

Santi (2012) indica que el principal bloque de una red *Mesh*, es un dispositivo denominado estación *Mesh*, que tiene la capacidad de establecer enlaces punto a punto con otras estaciones *Mesh*, realizando así una arquitectura de malla multi-salto, entre las estaciones *Mesh* que conforman la red inalámbrica. Una estación *Mesh*, también conocida como un router *Mesh*, puede incorporar funcionalidades adicionales, tales como:

- Funcionalidad de AP para proveer acceso inalámbrico a estaciones WLAN.
- Funcionalidad de puerta de enlace a Internet, si la estación *Mesh* presenta una conexión cableada a Internet.

De acuerdo a Santi (2012), es notable observar que en el concepto de red *Mesh*, las funcionalidades de AP y la puerta de enlace son opcionales, y son generalmente provistas solo por un conjunto de estaciones *Mesh*. Por ejemplo, una estación *Mesh* puede desplegarse con el sólo propósito de actuar como un puente entre las diferentes partes de una red inalámbrica (por ejemplo, una WLAN), caso en el cual ninguna de las dos funcionalidades mencionadas es utilizada.

En la figura 13 se presenta un ejemplo de arquitectura de red *Mesh*.

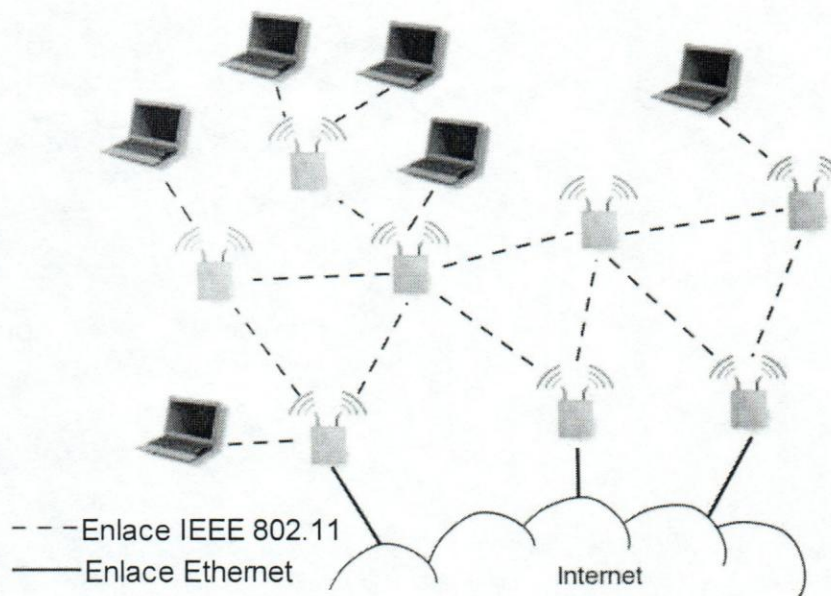


Figura 13. Arquitectura de red *Mesh* inalámbrica típica.
Fuente: Santi (2012, p. 7)

2.2.8.1 Pila de Protocolos de una Red *Mesh*.

Según Methley (2009), una forma lógica de describir los aspectos fundamentales de las capas que conforman una arquitectura de red *Mesh*, es considerar un modelo genérico de comunicaciones basado en una pila o *stack* de protocolos. Este modelo genérico se muestra en la figura 14.

Aplicación
Transporte
Enrutamiento
MAC
PHY

Figura 14. Pila de protocolos genérica de red *Mesh*.
Fuente: Methley (2009, p. 28)

En el fondo de la pila se encuentra la capa física o PHY. Dicha capa consiste de las partes que se encuentran directamente relacionadas con la interfaz de aire, como por ejemplo las antenas y transceptores electrónicos. Esto implica que en la capa física se incluyen los elementos de diseño, como la elección del esquema de modulación y la potencia de transmisión. (Methley, 2009)

Agrega Methley (2009) que la capa anterior no incluye método bajo el cual se determina el acceso a la interfaz de aire, ya que este es el trabajo de la capa de control de acceso al medio, o simplemente MAC. Esta capa, por ejemplo, incluye esquemas que permiten asociar múltiples usuarios al medio por medio de diversos métodos, como las formas aleatorias de evitación de colisiones utilizadas en 802.11 o la multiplexación estructurada en tiempo y división de frecuencia utilizada en GSM.

Para permitir a los nodos encontrarse y comunicarse con otros, algún esquema de direccionamiento es requerido, el cual es parte de la capa de enrutamiento. Un ejemplo de la creciente ubicuidad del protocolo de internet (IP). La última versión de dicho protocolo, IPv6, incluye un espacio de direccionamiento altamente extendido

en respuesta a la demanda mundial fundamentada en que cada dispositivo puede necesitar una dirección IP única. IP por sí sólo es un esquema de direccionamiento, pero también debe existir un protocolo de enrutamiento. En *routers* antiguos este era RIP (Routing Information Protocol). Aunque RIP es todavía utilizado, ha sido paulatinamente reemplazado por protocolos de enrutamientos más complejos a medida que el Internet ha crecido. (Methley, 2009)

Con respecto a la capa de transporte, Methley (2009) señala que es la responsable de ordenar la forma en que los paquetes de datos son enviados a través del enlace, y lo que realiza, si debe, cuando los paquetes no llegan a su destino. El ejemplo más en esta capa es el protocolo TCP (Transmission Control Protocol), el cual incluye mecanismos para el control de congestión y verificación de entrega de paquetes. TCP/IP para transporte y direccionamiento se ha vuelto un elemento constante en los sistemas de comunicaciones.

Finalmente, la capa de aplicación cubre todos los elementos hasta la interfaz del usuario. En otras palabras, soportar cualquier tarea que el nodo del usuario desee realizar. Juntando todos los protocolos, una pila de ejemplo sería un radio 802.11 (PHY) y un ad hoc 802.11 MAC transportando TCP/IP para permitir el envío y/o recepción de datos de una aplicación de correo electrónico. (Methley, 2009)

2.2.9 Requerimientos del Diseño de una Red.

Los sistemas o plataformas de redes implementan *stacks* o pilas de protocolos. Las especificaciones funcionales de los sistemas de redes son relativamente sencillas de definir, debido a dicha estructura de *stack* o pila: en primer lugar, se define el tamaño de la pila, luego los protocolos de cada peldaño o elemento de la pila y finalmente las características del rendimiento de los enlaces de red utilizados. La especificación de *stacks* y protocolos es fácil de deducir basados en los estándares correspondientes. (Serpanos y Wolf, 2011)

Según Serpanos y Wolf (2011), la especificación del rendimiento de un sistema o plataforma de red es guiada por las necesidades de los agentes involucrados en la comunicación de datos: aplicaciones en los sistemas finales, usuarios y operadores

de la red. Por ejemplo, las aplicaciones y servicios de red usualmente entregan datos a una interfaz humana (por ejemplo, telefonía, Televisión y aplicaciones multimedia). En estos casos, parámetros especiales deben tomarse en cuenta para permitir que las aplicaciones y servicios entregados a los humanos presentan la calidad apropiada con la finalidad de que el servicio sea aceptable para el usuario.

Las dos caras de un sistema de redes, esto es, el lado de ingeniería así como el lado de la calidad de los servicios, permiten clasificar los requerimientos de las aplicaciones y servicios de red en dos categorías: funcionales (cualitativos) y técnicos (cuantitativos). (Serpanos y Wolf, 2011)

2.2.9.1 Requerimientos Cualitativos o Funcionales.

De acuerdo a Serpanos y Wolf (2011), los requerimientos cualitativos capturan las características de una red en general en vez de los sistemas de la red por sí solos, incluyendo clientes, servidores, *switches* y otros sistemas de la red así como los enlaces. Por lo tanto, son considerados características de la red en general. Parámetros cualitativos característicos incluyen operación correcta, conservación del trabajo, entrega de paquetes en orden, degradación gradual, etc. Los mencionados son definidos, en concordancia a lo indicado por Serpanos y Wolf (2011), de la siguiente manera:

- La correcta operación implica que la red se comporte como se espera y como se encuentra especificado por el protocolo de la aplicación/servicio que ejecuta; además, indica que la red puede manejar cualquier tipo de tráfico de datos válido.
- La red necesita conservar el trabajo, evitando la pérdida de paquetes o el incremento del trabajo en la red.
- Con respecto a los usuarios humanos, así como las aplicaciones, los paquetes de datos necesitan ser entregados en orden (sin el reordenamiento de la secuencia de paquetes enviadas por el emisor); esta propiedad es una característica crítica para la gran mayoría de aplicaciones y servicios.

- La degradación gradual es un requerimiento importante que lleva a los sistemas y usuario a percibir un decremento gradual en el rendimiento de la red bajo una carga específica. Esto significa que la red se ralentiza de forma gradual a medida que el tráfico incrementa o que los componentes del sistema fallan, pero evitando el colapso de los servicios y sistemas. Es una característica importante para la aceptación y uso de servicios.

2.2.9.2 Requerimientos Cuantitativos o Técnicos.

Los requerimientos cuantitativos o técnicos de las aplicaciones y servicios de la red pueden ser descritos como una combinaciones de parámetros cuantitativos, como control de admisión (la aceptación de conexiones o paquetes en la red), tolerancia a fallos (la capacidad de continuar las operación a pesar de fallas en los componentes o enlaces), estadísticas sobre el fuera de orden (el número de paquetes que llegan en un orden diferente al que fueron enviados), entre otros. Claramente, estos parámetros no son suficientes y, aunque útiles, no proveen una descripción precisa de las características de las redes y sus servicios. En contraste, existen parámetros cuantitativos de alto interés e importancia ya que estos influyen los servicios de una forma directa y se constituyen en requerimientos fundamentales desde la perspectiva de que su falta conduce a la incapacidad de proveer los servicios necesarios. Estos parámetros cuantitativos incluyen rendimiento (*throughput*), demora (*delay*), fluctuación (*jitter*) y pérdida de paquetes. (Serpanos y Wolf, 2011)

Acorde a Serpanos y Wolf (2011), los parámetros cualitativos mencionados previamente se definen de la siguiente manera:

- Rendimiento (*throughput*): Este parámetro mide las tasas de terminación de las unidades de datos fundamentales y ha sido utilizado en un amplio rango de mediciones para varios sistemas, por ejemplo, bits por segundo en enlaces, paquetes por segundo en interconexiones e instrucciones por segundo en procesadores. El tema importante relacionado al rendimiento es que es análogo al ancho de banda, con la única diferencia de que éste se

refiere al ancho de banda efectivo en lugar del agregado. En el caso de los enlaces, por ejemplo, el ancho de banda es calculado en bits por segundo contando todos los bits transmitidos, mientras que el rendimiento puede ser contado también en bits por segundo, pero contando solamente los bits entregados satisfactoriamente a la aplicación o protocolo en la capa especificada; por lo tanto, el rendimiento mide la fracción del ancho de banda que ofrece a la aplicación o capa de la pila de protocolos.

- La demora (*delay*) de la red es el tiempo de latencia para entregar una unidad de datos a través de un enlace o una red. La demora se compone de cuatro componentes:
 - Demora de transmisión: La demora en transmitir (insertar) la unidad de datos en la red.
 - Demora de propagación a lo largo de la ruta o enlace.
 - Demoras de conmutación en los sistemas de redes a lo largo de la ruta o enlace.
 - Demoras por colas en los sistemas de redes intermediarios debido a la carga de tráfico y conflictos en el destino con las unidades de datos (paquetes) transmitidas por diferentes fuentes de forma simultánea a lo largo de la red.
- La fluctuación (*jitter*) es la variación de la demora; usualmente, se debe a las alteraciones en la cola y programación de demoras en los sistemas de red a lo largo de los enlaces o rutas.
- La pérdida de paquetes es la medida de la cantidad de paquetes que se pierden en la transmisión, esto es, aquellos que son transmitidos, pero nunca se reciben. Existen diversas causas por las cuales ocurre la pérdida de paquetes, por ejemplo, congestión en la red, errores de transmisión, fallas en los sistemas de red, etc.

Conforme a Serpanos y Wolf (2011), las aplicaciones y servicios prácticos en una red son afectados por diversos parámetros en general. En la tabla 2 se presenta

una lista de un conjunto de aplicaciones, incluyendo interactivas y no interactivas, así como las que se ejecutan en tiempo real y las que no.

Tabla 2. Servicios de red y parámetros cuantitativos.

Aplicación	Rendimiento (<i>Throughput</i>)	Demora (<i>Delay</i>)	Fluctuación (<i>Jitter</i>)	Pérdida de Paquetes
Navegación por Internet	Bajo	Amplio	Insensible	Inaceptable
Archivado de datos científicos	Alto	Medio	Indiferente	Inaceptable
Telefonía	Bajo	Mínimo	Sensible	Bajo
TV por Internet	Alto	Mínimo	Sensible	Bajo
Videojuego de disparos en primera persona	Bajo	Mínimo	Muy sensible	Inaceptable
Cirugía en tiempo real	Alto	Mínimo	Muy sensible	Inaceptable
Redes tolerante a demoras	Bajo	Amplio	Insensible	Aceptable

Fuente: Serpanos y Wolf (2011, p. 28).

2.2.10 Proyecto Piloto de una Red.

El propósito de la prueba piloto es desarrollar una oportunidad para determinar que el diseño de la red satisface los requerimientos y/u objetivos planteados. El alcance del proyecto piloto depende del diseño en sí. Por ejemplo, el proyecto piloto para una nueva aplicación puede comprender la instalación de la aplicación en un servidor de prueba en la red existente, o el piloto para un nuevo *router* puede requerir la creación de un entorno separado de red para pruebas. (Evans, Jarboe, Smith, Thomases, y Treadaway, 2001)

Según Evans et al. (2001), independientemente del tamaño de la red existen dos ventajas significativas para implementar un proyecto piloto como parte del diseño:

- Permite aprender lecciones de forma temprana.
- Protegerá a la red de percances inesperados o especificaciones incorrectas.

2.2.10.1 Partes de un Proyecto Piloto

Todo piloto debe contemplar objetivos claramente definidos, así como los factores que deben presentarse para determinar si la prueba fue un éxito. Las partes del proyecto piloto son definidas de la siguiente manera por Evans et al. (2001):

- **Identificación de los objetivos:** Se debe empezar el proyecto piloto con una clara definición de los objetivos que se desean alcanzar. En primer lugar, se deben revisar todos los elementos, funciones y componentes especificados en el diseño. Seguidamente, desarrollar una lista de cada uno de los elementos, definiendo cada objetivo en términos concretos y medibles. Los objetivos deben ser lo suficientemente específicos para cubrir todas las áreas de la funcionalidad que se necesita probar durante el piloto.
- **Documentación del proceso:** Una vez que se hayan identificado los objetivos para el piloto, se procede a esquematizar y documentar el plan de prueba. Utilizando la lista de objetivos como guía, definir de forma precisa los procesos que se emplearán para demostrar las funcionalidades clave por cada objetivo.
- **Determinar los factores que constituyen el éxito:** Finalmente, desarrollar una definición clara de los criterios que serán utilizados para evaluar si el piloto es exitoso, y si el diseño provee una funcionalidad satisfactoria.

2.2.10.2 Pruebas de Concepto.

La mayoría de los proyectos piloto presentan tres fases: la fase de pruebas de concepto, la fase de pruebas y la fase de aprobación. La aplicación de dichas fases depende del alcance del diseño. (Evans, Jarboe, Smith, Thomases, y Treadaway, 2001)

De acuerdo a Evans et al. (2001), el propósito de la fase de pruebas de concepto es demostrar que el diseño es conceptualmente sólido, y que todos los componentes especificados dentro del diseño trabajarán de forma conjunta.

El objetivo de la fase de pruebas de concepto es probar que el diseño cumple la funcionalidad básica requerida para satisfacer los requerimientos de la red, presentando un enfoque orientado a la funcionalidad de dicho diseño. Al finalizar las pruebas de concepto, se conocerá si el diseño se encuentra acorde a los objetivos planteados. (Evans, Jarboe, Smith, Thomases, y Treadaway, 2001)

2.2.11 Modelado y Simulación de Redes

Según Lu y Yang (2012) existen varios métodos viables para la investigación de protocolos y la evaluación de rendimiento de la red

- Análisis y modelado matemático.
- Simulación: usualmente dividida en simulaciones basadas en tiempo y simulaciones basadas en eventos discretos.
- Simulación híbrida con ambos análisis y simulación.
- Emulación de banco de pruebas.

El análisis y modelado matemático pueden proporcionar acercamientos y respuestas rápidas a los problemas en estudio. Es generalmente más rápido que la simulación, pero en muchos casos es impreciso o inaplicable. Los modelos analíticos no están disponibles para diversas situaciones. Aun así, muchos de los modelos disponibles carecen de precisión y algunos se modelan a través de aproximaciones. Especialmente para una red de colas, donde puede descomponerse por medio de la suposición de independencia de Kleinrock o resolverse utilizando un método de análisis único de salto por salto, con pérdidas de precisión en ambos. Las dificultades en el modelado y la pérdida de precisión pueden exacerbarse en gran medida cuando los protocolos de red se vuelven cada vez más complejos. A menudo es necesario recurrir a la aproximación mediante la reducción del modelo general a un camino analítico típico y representativo con el fin de reducir las dificultades del análisis. (Lu y Yang, 2012)

Acorde a Lu y Yang (2012) la simulación de redes se constituye en un procedimiento para modelar los comportamientos de la red mediante el cálculo de las interacciones entre los dispositivos modelados. La simulación de eventos discretos o DES (por sus siglas en inglés, *Discrete event simulation*) es el método típico en estudios de simulación de gran escala en lugar de un método más simple basado en el tiempo. DES permite el modelado de una manera más exacta y realista, y tiene una amplia aplicabilidad. Mediante DES se crea un modelo paquete por paquete extremadamente detallado para las actividades de la red a ser predichas. Sin

embargo, a menudo tiene requisitos significantes de potencia de cálculo; en particular, para estudios de simulación a muy gran escala, el proceso puede llevar mucho tiempo. Puede tomar varias horas o incluso días para completarse. A pesar de lo anterior, simulación siempre puede proporcionar soluciones precisas, ya sea para un sistema de colas de un solo nodo o una red de colas, de algoritmos simples a protocolos complejos.

Una forma de evitar estas dificultades en el análisis matemático y la simulación explícita es la combinación de métodos en la simulación con el fin de obtener las ventajas de ambos al mismo tiempo que se superan sus desventajas. Este método combinado es usualmente llamado simulación híbrida, en otras palabras, modelando parcialmente en DES para la precisión y análisis matemático parcial para mayor velocidad y menor consumo de recursos. (Lu y Yang, 2012)

Lu y Yang (2012) indican que existen diversos simuladores de redes populares y ampliamente utilizadas como OPNET¹, ns² y OMNeT++³. OPNET es capaz de simular tanto en DES explícito como modos de simulación híbrida, y soporta otras características de simulación tales como co-simulación, simulación paralela, arquitectura de alto nivel, y simulaciones interactivas de sistema en bucle.

La emulación de banco de pruebas normalmente implica la aplicación de los algoritmos y protocolos estudiados en hardware del mundo real pero en una escala o tamaño mucho más pequeño. Dado que la emulación banco de pruebas considera los aspectos tanto de protocolos como de situaciones en un entorno real, se vuelve la mejor manera de proporcionar un punto de referencia en la estimación de la validez de algoritmos y protocolos y lo cerca que están a la situación real. Además, es una forma útil de demostrar nuevos conceptos de redes. La desventaja es que también se enfrenta a todas las demás dificultades del mundo real y algunos problemas de ingeniería inesperados que pueden ser completamente irrelevantes para los algoritmos y protocolos estudiados pero que pueden ser significantes en

¹ (también conocido como Riverbed Modeler, <http://www.riverbed.com/products/steelcentral/opnet.html>)

² (en su variante actual ns-3, <https://www.nsnam.org/>)

³ (<https://omnetpp.org/>)

los resultados globales de emulación. Además, el costo de la construcción de bancos de pruebas puede ser alto. Los bancos de pruebas no son adecuados para la investigación de sistemas grandes. (Lu y Yang, 2012)

2.2.11.1 OPNET

Lu y Yang (2012) detallan que el nombre de OPNET hace referencia a “herramientas optimizadas de ingeniería de redes” (en inglés, OPTimized Network Engineering Tools), y fue creado por OPNET Technologies, Inc., la cual fue fundada en 1986. En el año 2012, OPNET fue adquirida por Riverbed Technology, Inc., fundada en el año 2002. OPNET es un conjunto de herramientas para simulación de redes; sus productos y soluciones abordan los siguientes aspectos de las redes de comunicaciones:

- Gestión del desempeño de aplicaciones.
- Planificación.
- Ingeniería.
- Operaciones.
- Investigación y desarrollo.

OPNET Modeler es el producto comercial más notable entre la familia de productos OPNET que proporciona una solución basada en software de modelado y simulación de redes. Es ampliamente utilizado por investigadores, ingenieros, estudiantes universitarios y ejército de los Estados Unidos. OPNET Modeler es un simulador dinámico de eventos discretos con una interfaz gráfica de usuario (GUI) fácil de usar, apoyada en modelado jerárquico y orientado a objetos, depuración y análisis. OPNET Modeler ha evolucionado para soportar simulación híbrida, simulación analítica y simulación de 32 bits y 64 bits totalmente paralela, así como otras características. Presenta soporte para simulaciones distribuidas y una interfaz de sistema en bucle para permitir la simulación de sistemas en vivo que se alimentan de datos e información del mundo real en el entorno de simulación. Proporciona una interfaz abierta para integrar archivos de objetos externos, librerías y otros simuladores. Incorpora un amplio conjunto de protocolos y tecnologías, e incluye un

entorno de desarrollo para permitir el modelado de una gama muy amplia de tipos y tecnologías de red. (Lu y Yang, 2012)

Lu y Yang (2012) agregan que OPNET Modeler puede ser utilizado como una plataforma para desarrollar modelos de un amplio rango de sistemas. Estas aplicaciones incluyen: modelado del rendimiento de redes de área local estándares (LAN) y redes de área amplia (WAN), planificación de interconexión jerárquica de redes, la I+D de protocolos y arquitectura de las redes de comunicaciones, redes móviles, redes de sensores y redes satelitales. Otras aplicaciones incluyen la estimación de recursos, corte de energía y recuperación de fallos, entre otros.

2.3. Bases Legales

La finalidad del presente apartado es proponer una interpretación argumentada del ordenamiento jurídico que rige el diseño de una plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular como elemento de *Smart City* en el Municipio Libertador de la ciudad de Caracas, a través de la revisión de los documentos con rango de ley aplicables al campo de las telecomunicaciones y otras áreas relacionadas al ámbito de estudio.

A continuación, se presenta en la tabla 3 el conjunto de instrumentos legales considerados de relevancia en relación al tema de estudio, detallando según sea el caso los artículos aplicables.

Tabla 3. Marco legal.

NORMATIVA	GACETA/ FECHA DE PUBLICACIÓN	ART.	DESCRIPCIÓN
Constitución de la República Bolivariana de Venezuela	N° 5.908 extraordinario/ 19 de febrero de 2009	55	Derecho de cualquier individuo a la seguridad por parte de organismos dispuestos por el Estado. Aplicable a situaciones de amenaza a la propiedad y derechos personales.
		110	Las innovaciones científicas y tecnológicas serán reconocidas por el Estado como relevantes para el desarrollo del país en distintos ámbitos.
		156, num. 28	Las telecomunicaciones y la gestión del espectro electromagnético son competencia del Poder Público Nacional.
		332	Nombramiento de órganos de seguridad ciudadana para la protección de las personas a nivel nacional.

NORMATIVA	GACETA/ FECHA DE PUBLICACIÓN	ART.	DESCRIPCIÓN
Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOTTEL)	N° 39.610/ 7 de febrero de 2011	4	Definición de telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico. Este último es un recurso dado por la porción del espectro electromagnético, dividido convencionalmente por bandas de frecuencia, propicia para servicios de telecomunicaciones.
		6	Posibilidad de realizar el despliegue y uso de las prestaciones de una red de telecomunicaciones con base a satisfacer necesidades del propietario o de un tercero.
		35	Definición de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), ente con competencia jurídica en el área de las telecomunicaciones en Venezuela.
		69	El espectro radioeléctrico es regulado y gestionado por CONATEL, de acuerdo a la LOTTEL y a normas internacionales (UIT).
		71	CONATEL publicará en gaceta oficial el CUNABAF o el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia.
		72	Las atribuciones de bandas de frecuencia realizadas en el CUNABAF deben adaptarse a los tratados internacionales suscritos por Venezuela, así como a criterios que logren el uso eficiente del espectro radioeléctrico.
		125	Las vías generales de telecomunicaciones hacen referencia a cualquier instalación que funcione para soportar la colocación de redes y dispositivos varios.
		126	Se especifica que los planes de desarrollo urbano y obras públicas deben contemplar la integración de vías generales de telecomunicaciones, cuyo establecimiento y uso será incentivado por CONATEL.
Ley de Transporte Terrestre	N° 38.985/ 1 de agosto de 2008	59	Es de carácter obligatorio que todo vehículo que circule en el territorio venezolano presente su respectiva placa o matrícula identificadora.
		29	Creación de un sistema de información para los órganos de seguridad ciudadana: el Sistema Nacional de Registro Delictivo, Emergencias y Desastres.
Decreto con fuerza de Ley de coordinación de seguridad ciudadana	N° 37.318/ 6 de noviembre de 2001	30	Definición de los subsistemas que conforman el Sistema Nacional de Registro Delictivo, Emergencias y Desastres: central, metropolitano y regional.
		31	Los órganos de seguridad ciudadana deben actualizar las bases de datos del subsistema correspondiente con información relacionada a sus funciones.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Toda investigación debe presentar una serie de lineamientos o métodos que permitan definir las diferentes estrategias para desarrollar la construcción epistemológica que permita, con base a fundamentos teóricos precisos, dar solución a la problemática en estudio. El presente capítulo, denominado marco metodológico, se centra en la conceptualización de tales lineamientos.

En concordancia al planteamiento anterior, Balestrini (2006) establece que este componente de la investigación: "... está referido al momento que alude al conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de la investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio..." (p.125).

A continuación, se presenta el primer punto del marco metodológico, en el cual se desarrollaron argumentos que buscaron ubicar el tema de estudio en el contexto del tipo o tipos de investigación al cual pertenece.

3.1 Tipo de Investigación

Por medio de la identificación del tipo de investigación, es posible determinar la estructura a seguir en el desarrollo de los diferentes componentes que engloban a la solución del tema en estudio. No obstante, existen diferentes perspectivas en cuanto a tipos de investigación se refiere.

Una investigación puede ser pura o básica, así como también aplicada. Según el Manual de Frascati de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2003), mientras que la investigación básica se fundamenta en trabajos de naturaleza teórica cuyo objetivo es desarrollar nuevos planteamientos o hipótesis acerca de tópicos poco explorados, "la investigación aplicada consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico." (p. 82)

Además, la OCDE (2003) agrega lo siguiente a la definición de investigación aplicada: "Este tipo de investigación implica la consideración de todos los conocimientos existentes y su profundización, en un intento de solucionar problemas específicos... La investigación aplicada desarrolla ideas y las convierte en algo operativo." (pp. 82-83)

De los tipos de investigación previamente expuestos, la presente es una **investigación aplicada** ya que está dirigida al diseño de una plataforma de red *Mesh* como solución de un problema práctico, en este caso, la actividad criminal asociada al robo y hurto de vehículos en la región caso estudio, en el contexto del desarrollo de la localidad como una *Smart City*.

3.2 Diseño de la Investigación

Según Arias (2012), "El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado..." (p. 27)

La estrategia, como indica Arias (2012), para desarrollar el tema en estudio implica la determinación de las fuentes de información que sustentan la solución al problema o situación planteada. En este sentido, para el diseño de la plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular como elemento de *Smart City*, se necesita realizar tanto la revisión y análisis de diversas fuentes documentales especializadas, así como la observación directa, por ejemplo, del estado de los requerimientos o parámetros definidos en el diseño en un entorno piloto o simulado como parte de pruebas de concepto.

Por lo tanto, la presente investigación adopta un diseño mixto, con elementos tanto de investigación de tipo documental como de campo. La Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (2006) define la investigación documental como "... el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos." (p. 12)

De igual forma, la UPEL (2006) establece que el diseño de investigación de campo consiste en el estudio de diferentes fenómenos identificados con "... el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia... Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad..." (p. 11)

3.3 Unidad de Análisis

La unidad de análisis hace referencia los elementos en estudio de la investigación. De acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2010) se trata "...¿sobre qué o quiénes se recolectarán datos? Aquí el interés se centra... en los participantes, objetos, sucesos o comunidades de estudio (las unidades de análisis), lo cual depende del planteamiento de la investigación y de los alcances del estudio..." (p. 172).

En la presente investigación, la unidad de análisis se encuentra conformada por el entorno del municipio Libertador de la ciudad de Caracas. Los componentes que conforman el diseño de la plataforma de red *Mesh*, así como las pruebas de concepto relacionadas, se desarrollan tomando en cuenta ciertas características de dicho entorno presente en la realidad.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En una investigación se deben definir el conjunto de procedimientos o procesos a través de los cuales se tiene acceso a las fuentes de información cuyo análisis e interpretación da lugar a resultados. Según Balestrini (2006) las técnicas de recolección de datos: "... permitirán cumplir con los requisitos establecidos en el paradigma científico, vinculados a el carácter específico de las diferentes etapas de este proceso investigativo y especialmente referidos al momento teórico y al momento metodológico de la investigación..." (p. 145).

A continuación se presentan las técnicas e instrumentos de recolección de datos a emplearse en la presente investigación:

- **Análisis documental:** Técnica que abarca la obtención, revisión y disertación de información de todos aquellos medios impresos y digitales que contienen datos secundarios o presentados por otros autores. Es iniciada por la observación documental, de acuerdo a Balestrini (2006) "... A partir de la observación documental, como punto de partida en el análisis de las fuentes documentales, mediante una lectura general de los textos, se iniciará la búsqueda y observación de los hechos presentes en los materiales escritos consultados..." (p. 152).

A medida que progresa el grado de profundidad en el estudio de los diversos tópicos, el análisis documental se relaciona con otras técnicas enmarcadas en el mismo tipo de investigación, con mayor nivel de abstracción y especificidad, tales como la presentación resumida, el resumen analítico y análisis crítico o de contenido (Balestrini, 2006).

Son ejemplos de instrumentos del análisis documental las fichas así como los formatos digitales de información alojados en unidades de almacenamiento informáticas. (Arias, 2012). De los instrumentos mencionados, se hace uso de aquellos pertenecientes a la segunda clasificación definida.

- **Análisis de contenido:** Definida por Hernández, Fernández y Baptista (2010) como "Es una técnica para estudiar cualquier tipo de comunicación de una manera 'objetiva' y sistemática, que cuantifica los mensajes o contenidos en categorías y subcategorías, y los somete a análisis estadístico." (p. 260).

Es parte del análisis de contenido el uso de instrumentos tales como cuadros de registro y la clasificación en categorías (Arias, 2012), de los cuales ambos se utilizan en la presente investigación. No obstante, también son instrumentos la evaluación, estudio de características, comparación,

determinación de discrepancias y diferencias, entre otros, de diversos contenidos (Hernández, Fernández, y Baptista, 2010).

- **Observación estructurada:** En relación a la técnica de la observación, Hernández, Fernández y Baptista (2010) indican "Este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías." (p. 260).

A su vez, la observación puede ser estructurada y no estructurada. La observación estructurada, a utilizarse en la presente investigación, es descrita por Arias (2012) como "...aquella que además de realizarse en correspondencia con unos objetivos, utiliza una guía diseñada previamente, en la que se especifican los elementos que serán observados." (p. 70).

Arias (2012) cita como ejemplos de instrumentos dentro de la observación estructurada la lista de cotejo y escala de estimación. Dentro del contexto proporcionado por dicho autor, se puede contemplar un instrumento tal como casos de prueba definidos, los cuales forman parte de la presente investigación.

3.5 Procedimiento por Objetivos

La investigación se llevó a cabo por medio de diferentes actividades que se encuentran contenidas en los objetivos específicos planteados. Para cada una se describieron los medios necesarios relacionados, así como los resultados parciales de la investigación que se obtuvieron en cada objetivo específico.

Estos objetivos y actividades se detallaron de la siguiente forma:

OBJETIVO ESPECÍFICO I. Identificación de los requerimientos funcionales y técnicos de la plataforma de red dentro de los cuales se enmarca la operación para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular.

Estrategia desarrollada en la fase: En este objetivo se realiza la definición requerimientos que debe presentar el modelo de red *Mesh* que se diseña, incluyendo parámetros cuantitativos. De tal manera, las actividades de esta fase fueron las siguientes:

Actividades:

- Definición de los requerimientos cualitativos o funcionales de la plataforma de red a diseñar, influenciado por elementos de estado del arte de la *Smart City*.
- Definición de los requerimientos cuantitativos o técnicos de la plataforma de red a diseñar.
- Delimitación del estado deseado de los requerimientos cuantitativos o técnicos definidos.

Producto obtenido: Con este objetivo se obtuvo una guía, por medio de los diferentes requerimientos, de las características que presenta el diseño de la plataforma de red *Mesh* para satisfacer su aplicación en el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular.

OBJETIVO ESPECÍFICO II. Análisis situacional de la red existente con aplicación en respuesta a incidentes de seguridad en el municipio Libertador de Caracas, a través de la descripción de los elementos que la conforman.

Estrategia desarrollada en la fase: En este objetivo se recolecta y analiza toda la información necesaria correspondiente a la red existente en el entorno caso estudio con aplicación a la respuesta a incidentes. De tal manera que las actividades de esta fase fueron las siguientes:

Actividades:

- Descripción de los avances históricos realizados en el entorno caso estudio en relación al despliegue de tecnologías de redes con aplicación en el campo de la respuesta a incidentes.

- Conceptualización de los elementos que conforman el modelo tecnológico asociado a la red existente en el entorno caso estudio.
- Planteamiento de una estrategia para el desarrollo del diseño de la red *Mesh* con los requerimientos deseados, en relación a la posible interoperabilidad con la tecnología existente.

Producto obtenido: Culminado este objetivo, se conocieron las características de la red existente para la respuesta a incidentes en el entorno caso estudio y las características que se pudieron tomar en cuenta de la misma para el diseño de la propuesta de la presente investigación.

OBJETIVO ESPECÍFICO III. Definición de los elementos que forman parte de la plataforma de red *Mesh* para monitoreo vehicular, determinando las características de los enlaces, protocolos y nodos.

Estrategia desarrollada en la fase: En este objetivo se seleccionaron, determinaron y presentaron los elementos, tanto operacionales como estructurales, que formaron parte del diseño de la red *Mesh* para monitoreo vehicular. De tal manera que las actividades de esta fase fueron las siguientes:

Actividades:

- Elaboración del modelo operacional de la red *Mesh* para monitoreo vehicular, con base a los requerimientos cualitativos o funcionales.
- Identificación de los elementos que conforman el diseño de la red *Mesh*, que satisfacen el modelo operativo definido.
- Determinación de la topología de red *Mesh* que integra los elementos definidos.
- Desarrollo de las especificaciones de la red *Mesh* a través de la utilización de un modelo de capas y protocolos.

Producto obtenido: Por medio del presente objetivo, se definieron modelos que describen el funcionamiento de los elementos que conforman la plataforma de red *Mesh*.

OBJETIVO ESPECÍFICO IV. Precisión de pruebas de concepto para la simulación de la plataforma de red *Mesh*, mediante la especificación de diversos escenarios, con la finalidad de cerciorarse de su correcto funcionamiento en una eventual implementación.

Estrategia desarrollada en la fase: En este objetivo se comprobó la validez de la plataforma de red *Mesh*. De tal manera que las actividades de esta fase fueron las siguientes:

Actividades:

- Descripción del entorno de pruebas, basado en la simulación.
- Planteamiento de escenarios de prueba, con sus respectivos casos de éxito, con base a los requerimientos cuantitativos o técnicos.
- Ejecución de las simulaciones para cada uno de los casos de pruebas definidos.
- Comparación de los resultados obtenidos en cada caso de prueba.

Producto obtenido: Este objetivo permitió validar el diseño de la plataforma de red *Mesh* por medio de un acercamiento simulado de su funcionalidad.

3.6 Operacionalización de las Variables

Tamayo y Tamayo (2003) indican que "La información mínima necesaria para el análisis en una investigación proviene de la operacionalización de variables, ya que los instrumentos de relación de recolección de información se construyen a partir de las dimensiones e indicadores de variable." (p. 171).

En la tabla 4 a continuación se presenta la operacionalización de las variables.

Tabla 4. Proceso de operacionalización de las variables.

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	INDICADORES	FUENTES DE INFORMACIÓN
Diseño de una plataforma de red <i>Mesh</i> para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular como elemento de <i>Smart City</i> dentro del municipio Libertador, Caracas.	Identificación de los requerimientos cualitativos o funcionales y técnicos de la plataforma de red dentro de los cuales se enmarca la operación para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular.	Plataforma de red <i>Mesh</i>		• Requerimientos cualitativos o funcionales. • Requerimientos cuantitativos o técnicos.	• Bibliografía especializada.
	Realización del análisis situacional de la red existente con aplicación en respuesta a incidentes de seguridad en el municipio Libertador de Caracas, a través de la descripción de los elementos que la conforman.	Red existente	• Análisis documental. ○ Archivos electrónicos. • Análisis de contenido. ○ Cuadro de registro. ○ Clasificación de categorías	Elementos de la red.	• Bibliografía especializada. • Fuentes de información pública: ○ Noticias. ○ Información autorizada.
	Definición de los elementos que forman parte de la plataforma de red <i>Mesh</i> para monitoreo vehicular, determinando las características de los enlaces, protocolos y nodos.	Plataforma de red <i>Mesh</i>		Características: • Enlaces. • Protocolos. • Nodos.	• Bibliografía especializada.
	Precisión de pruebas de concepto para la simulación de la plataforma de red <i>Mesh</i> , mediante la especificación de diversos escenarios, con la finalidad de cerciorarse de su correcto funcionamiento en una eventual implementación.	Plataforma de red <i>Mesh</i>	• Observación estructurada: ○ Casos de prueba.	Escenarios de prueba.	• Resultados de simulaciones.

3.7 Aspectos Éticos

Los aspectos éticos se encuentran fundamentados en el código de conducta o buenas prácticas que rigen el orden moral bajo el cual se desarrolla un trabajo de investigación.

Los códigos de ética en ingeniería contemplan, al menos, ocho funciones básicas: Servicio y protección al público, orientación, inspiración, uso de estándares compartidos, apoyo a profesionales responsables, educación y comprensión mutua, disciplina y contribución a la imagen de la profesión. (Martin y Schinzinger, 2010).

De forma que el presente estudio toma como base para un proceder fundamentado en normas y principios aceptados los siguientes códigos de ética que recogen las responsabilidades morales bajo las cuales se rige la presente investigación y presentan una relevancia especial en relación a los objetivos en ella planteados .

- El **código de ética profesional del Colegio de Ingenieros de Venezuela** (2012) plantea 22 principios considerados opuestos al ejercicio honesto de la ingeniería, destacándose entre ellos evitar cualquier violación de las bases legales relacionadas a la investigación, el uso adecuado de las fuentes de información por medio del apego a las pautas correspondientes para el reconocimiento oportuno de las investigaciones realizadas por otros autores, así como fomentar conocimientos propios de la ingeniería de telecomunicaciones.
- Por otro lado, el **código de ética de la IEEE** (2013) se encuentra conformado por 10 lineamientos, enunciados desde la perspectiva de la obligación que presentan los ingenieros respecto a su profesión y al papel que presentan en el impacto de la tecnología en la sociedad. Uno de los puntos del mencionado código de ética recoge el principio del servicio y protección al público, el cual se considera de relevancia para la presente investigación ya que el diseño de la plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular no contemplará elementos que pudiesen comprometer

el bienestar del público y las condiciones del ambiente. Aunado a lo anterior, se tiene el compromiso de responsabilidad en cuanto a las elucubraciones realizadas con base a datos reales y disponibles, así como estimular el entendimiento de la tecnología y las posibles consecuencias del uso de la misma. Con respecto al último punto, en la presente investigación se evidencia la utilidad de la plataforma de red *Mesh* a diseñar con la finalidad de evitar una interpretación inadecuada o contraria a su objetivo original. Finalmente, el código de ética promueve tanto la búsqueda de conocimiento como la educación y comprensión mutua, que aplicado al tema en estudio, se debe orientar al fortalecimiento y contribución a las teorías relacionadas con la ciudad inteligente o *Smart City* y constituir una referencia para otros investigadores.

CAPÍTULO IV: MARCO REFERENCIAL

El cuarto capítulo de la presente investigación contempla el estudio del ámbito espacial donde pueden ubicarse los diferentes elementos que guardan relación con la problemática analizada, y que además presentan cierto nivel de influencia sobre los componentes que forman parte de la solución.

De acuerdo a Velazco (2011): “En el caso de la investigación aplicada, este ámbito puede ser un ente etéreo, grupo social, organización, institución, un sector de actividad económica, una zona geográfica.” En referencia a lo indicado por este autor, el marco referencial del presente estudio se define en torno a una zona geográfica, específicamente el municipio Libertador de la ciudad de Caracas.

El municipio Libertador presenta una superficie de 433 Km² y es uno de los cinco municipios que conforma el Distrito o Área Metropolitana de Caracas, junto con los municipios Chacao, Sucre, Baruta y El Hatillo. La división político territorial del municipio Libertador, así como sus límites territoriales, se presentan gráficamente en el mapa correspondiente a la figura 15:

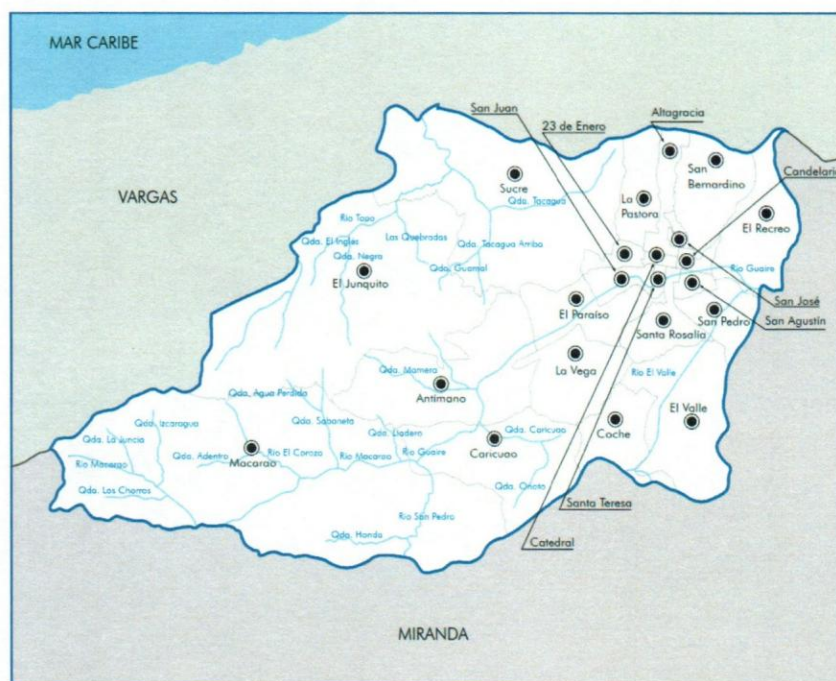


Figura 15. Mapa del municipio Libertador.
Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Cultura (2007)

Actualmente, el territorio correspondiente al Distrito Capital, una de las 24 entidades federales de la República Bolivariana de Venezuela, se encuentra conformado por el municipio Libertador y sus 22 parroquias civiles. Acorde al Instituto Nacional de Estadística o INE (2014):

"El Distrito Capital es una entidad federal especial creada según Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 36.860 de fecha 30/12/99, capítulo II, artículo 16 y amparada bajo la Constitución de Venezuela de 1999 y que ocupa la misma superficie del Municipio Bolivariano Libertador. Por ser este municipio el asiento de todos los poderes públicos de la nación, se le otorga a la entidad en el año 2009 el rango de federal y pasa a ser competencia del Poder Nacional, la organización de este territorio." (pp. 6-7).

Geográficamente, el municipio Libertador está constituido por un relieve montañoso que conforma el Parque Nacional Waraira Repano, y el valle donde se emplaza la ciudad de Caracas. El perfil hidrográfico de la localidad se caracteriza caracterizado principalmente por la presencia del tributario del río Guaire, que surge a raíz de la confluencia de los ríos Macarao y San Pedro. El municipio Libertador presenta una temperatura promedio al año de 22°C, registrando un mínimo y un máximo de 21°C y 24° C respectivamente. (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2014)

En cuanto al sector económico del municipio Libertador, este se concentra principalmente alrededor del sector público y según el Instituto Nacional de Estadística (2014), se le conoce como el "centro de las actividades económicas de la nación". De igual forma, se llevan a cabo en la municipalidad diversas actividades comerciales tanto de naturaleza formal como informal. El municipio también presenta un potencial turístico reconocido, ya que en él se encuentran ubicados localidades e instituciones que representan una parte importante del legado histórico de Venezuela, como la Casa Natal de Simón Bolívar, el Palacio Municipal, el Panteón Nacional, entre otros.

Según el censo nacional de población y vivienda del año 2011, el Instituto Nacional de Estadística o INE (2014) indica que la entidad concentra una población de 1.943.901 habitantes, equivalentes al 0,04% del total de la población a nivel nacional, lo que representa un incremento de 5,9% con respecto a la población total

registrada en el censo del año 2001, la cual fue de 1.836.286 habitantes. En la tabla 5 que se presenta a continuación se presentan los resultados de los últimos dos censos de población y vivienda en el municipio Libertador por cada parroquia.

Tabla 5. Distribución de la población en el municipio Libertador (2001-2011).

PARROQUIA	2001		2011	
	TOTAL	%	TOTAL	%
TOTAL	1.836.286	100,0	1.943.901	100,0
Altagracia	39.291	2,1	47.922	2,5
Antimano	127.708	7,0	131.963	6,8
Candelaria	53.473	2,9	66.486	3,4
Caricuao	143.048	7,8	138.659	7,1
Catedral	4.831	0,3	12.777	0,7
Coche	51.029	2,8	59.889	3,1
El Junquito	38.005	2,1	50.470	2,6
El Paraíso	99.208	5,4	109.622	5,6
El Recreo	96.162	5,2	112.809	5,8
El Valle	134.503	7,2	142.893	7,3
La Pastora	80.188	4,4	80.397	4,1
La Vega	122.189	6,7	123.863	6,4
Macarao	43.191	2,4	47.851	2,5
San Agustín	40.840	2,2	38.476	2,0
San Bernardino	24.031	1,3	27.353	1,4
San José	36.269	2,0	39.604	2,0
San Juan	93.076	5,1	106.507	5,5
San Pedro	56.373	3,1	58.254	3,0
Santa Rosalía	105.123	5,7	101.103	5,2
Santa Teresa	18.987	1,0	23.715	1,2
Sucre	352.040	19,1	345.944	17,8
23 De Enero	76.721	4,2	77.344	4,0

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2014, p. 11)

De los datos presentados en la tabla 5, se observa que la parroquia Sucre es la entidad que concentra la mayor cantidad de habitantes, con 345.944 o 17,8%, seguida de las parroquias El Valle y Caricuao, con 142.893 (7,3%) y 138.659 (7,1%) respectivamente, según el censo de población y vivienda del año 2011.

El Instituto Nacional de Estadística o INE señala que el municipio Libertador de Caracas concentra 547.189 viviendas empadronadas según el censo del año 2011, mientras que en el año 2001 el censo arrojó el resultado de 453.528 hogares empadronados. (Instituto Nacional de Estadística, 2014)

De acuerdo al censo del año 2001, 204.193 viviendas presentan disponibilidad de algún tipo de vehículo entre bicicleta, moto y carro. Cifra que disminuye en el censo

del año 2011 a 178.241 viviendas. En la tabla 6 se presenta con mayor detalle la cantidad de hogares con disponibilidad de vehículos en los dos últimos censos.

Tabla 6. Hogares con disponibilidad de vehículos (2001-2011).

TIPO DE VIVIENDAS	CENSOS	
	2001	2011
TOTAL 1/	453.528	545.791
Bicicleta	44.673	16.975
Moto	13.399	31.630
Carro	146.121	129.636

1/: Corresponde al total de hogares empadronados y no a la suma de los vehículos que disponen.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2014, p. 41)

Según los datos presentados en la tabla anterior, existe un incremento notable en la cantidad de hogares con disponibilidad de motos con respecto a los datos registrados en el censo de población y vivienda del año 2001, aumentado de 13.399 a 31.630. Por otro lado, La cantidad de hogares con disponibilidad de bicicletas y carros disminuyó en los datos del año 2011, de 44.673 y 146.121 a 16.975 y 129.636 respectivamente. La distribución porcentual de hogares por tipo de vehículo se presenta a continuación en el gráfico 2:

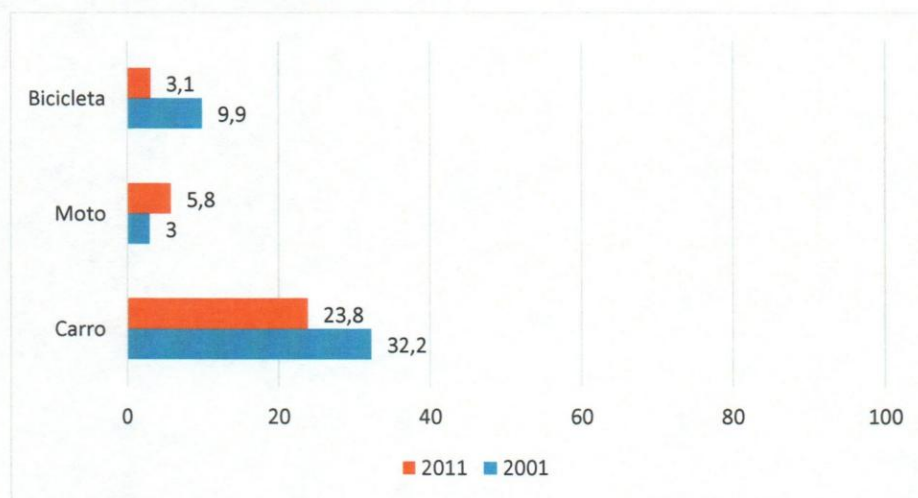


Gráfico 2. Porcentaje de hogares con disponibilidad de vehículos (2001-2011).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2014, p. 42)

Tomando en cuenta únicamente los vehículos automotores, se tiene una cantidad de 161.266 hogares con disponibilidad de moto y/o carro, según el censo de población y vivienda del año 2011.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de una investigación debe existir una correspondencia natural entre los fundamentos teóricos, que permiten comprender y sustentar los planteamientos realizados sobre la base del problema identificado, y los lineamientos metodológicos, que aportan una estructura al estudio. Dicha asociación se materializa en el presente capítulo.

En este apartado se recogen los resultados de la investigación por cada uno de los procedimientos definidos por objetivo. Para el diseño de una plataforma de red *Mesh* para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular como elemento de *Smart City* se planificaron cuatro objetivos, iniciando con la identificación de requerimientos, seguido del análisis situacional de la red como base de la plataforma tecnológica de seguridad existente en el entorno del problema así como la definición de los elementos que conforman la red propuesta y finalmente, la realización de la prueba de concepto por medio de la simulación de escenarios.

Se da inicio al capítulo V por medio del desarrollo del referido primer objetivo de la investigación.

5.1 Objetivo I. Identificación de los requerimientos funcionales y técnicos de la plataforma de red dentro de los cuales se enmarca la operación para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular.

Los requerimientos son aquellas premisas que el diseño de la plataforma de red debe satisfacer con la finalidad de cerciorar el impacto y viabilidad técnica que una arquitectura real construida sobre dicha base tendrá en la solución de la problemática identificada.

En la presente investigación, los requerimientos representan la base que dieron lugar a un conjunto de determinaciones posteriores. Desde la óptica de los requerimientos de un sistema de red, se adopta la clasificación de Serpanos y Wolf (2011) en cualitativos y cuantitativos.

5.1.1 Definición de los requerimientos cualitativos o funcionales.

Los requerimientos cualitativos son los que detallan las características fundamentales de la red, así como su funcionamiento. Especifican la forma en que la red interactúa con el entorno. Los requerimientos cualitativos pueden considerarse como una clasificación de los requerimientos funcionales.

A continuación, se describen en las tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, y 14 los requerimientos cualitativos de mayor relevancia para el desarrollo del diseño de la plataforma de red *Mesh*.

Tabla 7. Requerimiento Cualitativo: Enrutamiento y Direccionamiento

REQUERIMIENTO	Enrutamiento y Direccionamiento
DESCRIPCIÓN	Para establecer el intercambio de paquetes entre los diferentes elementos que conforman la red, es necesario que cada nodo se encuentre identificado con una dirección lógica unívoca de red (ej. IP). Sobre la base de la dirección de cada nodo, un protocolo de enrutamiento operará con la finalidad de indicar las rutas entre las partes que necesiten enlazarse. En el caso de la plataforma de <i>red Mesh</i>, el protocolo de enrutamiento debe: • Operar de manera distribuida y evitar la aparición de bucles. • Responder de forma dinámica a la demanda. • Dado que la red puede incrementar sus dimensiones, el protocolo debe ser escalable. • Soportar para enlaces unidireccionales y en ambas direcciones. • Contemplar aspectos de seguridad.
COMENTARIO	Se debe determinar el protocolo de enrutamiento con la finalidad de indicar un comportamiento de la red cercano a la realidad. Considerando el alcance de la presente investigación, los detalles sobre la configuración específica del direccionamiento y protocolo de enrutamiento en dispositivos comerciales son competencia de un eventual despliegue.

Tabla 8. Requerimiento Cualitativo: Disponibilidad

REQUERIMIENTO	Disponibilidad
DESCRIPCIÓN	Disponibilidad se refiere tanto al alcance de los enlaces como a las condiciones necesarias para que las características de los mismos se mantengan estables. La disponibilidad es necesaria para establecer la interconectividad de la plataforma de red <i>Mesh</i> con los sistemas de reconocimiento y redes externas.
COMENTARIO	La disponibilidad se trata como requerimiento cualitativo ya que, a pesar de que se tomarán en cuenta ciertas características aplicables al entorno donde ocurre el problema, el estudio, cálculo y prueba de los radioenlaces pertenece a un ámbito de implementación o despliegue del diseño.

Tabla 9. Requerimiento Cualitativo: Seguridad y Restricción de Acceso

REQUERIMIENTO	Seguridad y Restricción de Acceso
DESCRIPCIÓN	En una red inalámbrica del tipo <i>Mesh</i> existe la posibilidad de que el tráfico generado en un punto pueda ser transportado por todos los elementos de la red para alcanzar su destino, por lo que debe existir un requerimiento de seguridad para garantizar que el tráfico no pueda ser interceptado, almacenado o interpretado por un agente distinto al destino. Debe existir un componente, ya sea por nivel o capa de abstracción de la red, o incorporado como elemento individual, que controle y supervise al acceso al tráfico de la red.
COMENTARIO	Se contemplará la incorporación de un elemento de seguridad que permita el control del acceso a la red. Considerando el alcance de la presente investigación, los detalles sobre la configuración específica en tecnologías comerciales son competencia de un eventual despliegue.

Tabla 10. Requerimiento Cualitativo: Gestión de Red

REQUERIMIENTO	Gestión de Red
DESCRIPCIÓN	Se puede entender por gestión o administración de una red a la práctica de mantener bajo control, supervisión y monitoreo los diferentes elementos y recursos que conforman una red con la finalidad de asegurar su estabilidad y eficiencia para los diferentes procesos que se soportan en ella. La administración o gestión de redes implica asignaciones tales como: • Descubrimiento de dispositivos. Identificación de los dispositivos que se encuentran en una red. • Monitoreo de dispositivos. Monitoreo de la condición de los dispositivos en la red y determinar en qué medida su rendimiento cumple con lo esperado. • Análisis de desempeño. Seguimiento de indicadores tales como uso de ancho de banda, pérdida de paquetes, latencia, disponibilidad. • Notificaciones. Alertas que responden a escenarios específicos.
COMENTARIO	La plataforma de red <i>Mesh</i> debe permitir su análisis desde la perspectiva de la gestión de redes.

Tabla 11. Requerimiento Cualitativo: Tolerancia a Fallas

REQUERIMIENTO	Tolerancia a Fallas
DESCRIPCIÓN	La tolerancia a fallas es el principio que determina el comportamiento de una red cuando existen ciertos factores adversos al desempeño normal o esperado. A pesar de que el rendimiento de la red puede verse afectado, es preferible asegurar la continuidad de la operación de todos los elementos involucrados sobre la caída parcial o completa de toda la infraestructura. Para una red que da el soporte a una plataforma de seguridad como lo es el monitoreo de vehículos es importante evaluar el comportamiento en ciertas condiciones no ideales, así como también la implementación de una estrategia como la degradación gradual, para asegurar la continuidad de las comunicaciones.

COMENTARIO	Las pruebas de concepto deben incluir la alteración de los factores considerados ideales para comprobar la tolerancia a fallas.
------------	---

Tabla 12. Requerimiento Cualitativo: Soporte de Tráfico

REQUERIMIENTO	Soporte de Tráfico
DESCRIPCIÓN	El tráfico es uno de los elementos que se supervisa para presentar servicios eficientes en una red, dado que, si el tráfico se mantiene en los niveles esperados, se brindará el soporte adecuado a todos los sistemas dependientes, sin embargo, si la red presenta un tráfico atípico, el desempeño se verá afectado en cierta medida. El soporte del tráfico es uno de los requerimientos claves para obtener el rendimiento esperado en la red. En el caso de la plataforma de red <i>Mesh</i> para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular, se debe considerar los detalles técnicos pertinentes para habilitar la transmisión de tráfico de diversos tipos como datos generales e imágenes/video, sincronización por ciertos intervalos con servidores, etc.
COMENTARIO	Se pueden determinar diversos escenarios en las pruebas de concepto, manejando la posibilidad de observar el comportamiento de la red transmitiendo uno u otro tipo de tráfico.

Tabla 13. Requerimiento Cualitativo: Terminales y Nodos

REQUERIMIENTO	Terminales y Nodos
DESCRIPCIÓN	Una red de considerables dimensiones debe estar compuesta de diferentes dispositivos de interconexión tales como <i>routers</i> y <i>switches</i>, terminales o estaciones de trabajo según corresponda, puertas de enlace, dispositivos de seguridad, etc. Para el diseño de la plataforma de red inalámbrica del tipo <i>Mesh</i> cobra especial importancia determinar las características generales de los diversos terminales y nodos con la finalidad de desarrollar un diseño viable. Por ejemplo, entre los terminales se incluyen cámaras de reconocimiento y entre los nodos los puntos de acceso inalámbrico, entre otros.
COMENTARIO	Se deben describir las características generales de los terminales y nodos a emplear en el diseño de la red. Considerando el alcance de la presente investigación, los detalles sobre uso de equipos comerciales y configuraciones asociadas son competencia de un eventual despliegue.

Tabla 14. Requerimiento Cualitativo: Topología

REQUERIMIENTO	Topología
DESCRIPCIÓN	La topología hace referencia a la distribución física y/o lógica de los elementos de una red. Una malla inalámbrica o <i>Mesh</i> es un tipo de topología en el que todos los nodos se comunican entre sí, es decir, se encuentra conformada por conexiones multipunto a multipunto donde cada punto puede transmitir tráfico originado desde diversas fuentes hasta que arriba al destino. Debe existir una configuración particular en los dispositivos de interconexión para poder establecer la particular forma de la topología de malla.
COMENTARIO	Considerando el alcance de la presente investigación, la topología se describe a un nivel lógico. La descripción de una topología física se corresponde con un eventual despliegue del diseño.

5.1.2 Definición de los requerimientos cuantitativos o técnicos.

Habiendo definido los requerimientos cualitativos, se procedió a delimitar los requerimientos cuantitativos. Estos últimos son aquellos que se encuentran directamente relacionados con los parámetros o indicadores que se pueden determinar sobre el comportamiento de la red. Este tipo de requerimientos se corresponden con propiedades de la red y especifican posibles límites o restricciones.

Adaptando lo establecido por Serpanos y Wolf (2011), los requerimientos cuantitativos son definidos de acuerdo a lo presentado en las tablas 15, 16, 17, y 18:

Tabla 15. Requerimiento Cuantitativo: Rendimiento (*Throughput*)

REQUERIMIENTO	Rendimiento (<i>Throughput</i>)
DESCRIPCIÓN	El rendimiento es el ancho de banda actual medido en un período específico y bajo ciertas condiciones de red utilizadas para transferir datos de un tamaño particular. El rendimiento de toda la red es la suma de la tasa de datos enviada a todos los terminales de la red.
UNIDAD	Bits por segundo (bit/s o bps)
FÓRMULA 1/	$\text{Rendimiento} = \frac{\sum \text{datos enviados (bit)}}{\text{tiempo de envío de datos (s)}} \text{ bit/s}$

1/: Fuente: Sugeng, Istiyanto, Mustofa, y Ashari (2015, p. 51)

Tabla 16. Requerimiento Cuantitativo: Demora (*Delay*)

REQUERIMIENTO	Demora (<i>Delay</i>)
DESCRIPCIÓN	La demora es el tiempo transcurrido durante la transmisión de datos de un punto a otro, del origen hasta el destino. En redes TCP/IP la demora puede clasificarse como sigue: demora de paquetización, demora de colas, demora de propagación, demora de transmisión y demora de procesamiento.
UNIDAD	Segundos (s)
FÓRMULA 1/	$\text{Demora} = \frac{\text{longitud del paquete (bit)}}{\text{ancho de banda del enlace (bit/s)}} \text{ segundos}$

1/: Fuente: Sugeng, Istiyanto, Mustofa, y Ashari (2015, p. 50)

Tabla 17. Requerimiento Cuantitativo: Fluctuación (*Jitter*)

REQUERIMIENTO	Fluctuación (<i>Jitter</i>)
DESCRIPCIÓN	La fluctuación es la variación de la demora. La fluctuación es afectada por alteraciones de la carga de tráfico y la cantidad de colisiones entre paquetes (congestión) en la red.
UNIDAD	Segundos (s)
FÓRMULA 1/	$\text{Fluctuación} = \frac{\sum \text{variación de la demora}}{\sum \text{paquetes recibidos}} \text{ segundos}$

1/: Fuente: Sugeng, Istiyanto, Mustofa, y Ashari (2015, p. 51)

Tabla 18. Requerimiento Cuantitativo: Pérdida de Paquetes

REQUERIMIENTO	Pérdida de Paquetes
DESCRIPCIÓN	La pérdida de paquetes representa el fallo en la transmisión de paquetes IP hacia el destino. Es causado por una variedad de posibilidades, tales como: cantidad excesiva de colas en la red (congestión), exceso de trabajo en un nodo, memoria limitada en un nodo, políticas o controles en la red, etc.
UNIDAD	Porcentaje (%)
FÓRMULA 1/	$\text{Pérdida de paquetes} = \frac{\text{paquetes enviados} - \text{paquetes recibidos}}{\text{paquetes enviados}} \times 100 \%$

1/: Fuente: Sugeng, Istiyanto, Mustofa, y Ashari (2015, p. 49)

5.1.3 Delimitación del estado deseado de los requerimientos cuantitativos o técnicos.

De acuerdo a la definición de requerimientos de Serpanos y Wolf (2011), cada red presenta características particulares dependiendo del tipo de aplicaciones y servicios que debe soportar (ej. Aplicaciones en tiempo real, multimedia, etc.). Por lo tanto, a pesar de que los requerimientos cuantitativos definidos presentan un amplio rango de aplicación, los valores deseados para cada uno de ellos tienen que ser específicos para la plataforma de red *Mesh* referida en la presente investigación.

Diversas organizaciones e instituciones a nivel mundial (UIT-T, ETSI, *Telkom Polytechnic*) han definido valores estandarizados para cada uno de los requerimientos cuantitativos definidos. Dichos estándares constituirán la referencia para delimitar el estado o valor deseado en rendimiento, demora, fluctuación y pérdida de paquetes.

El rendimiento se encuentra relacionado al ancho de banda, con la diferencia de que el rendimiento es descrito como el ancho de banda actual en un tiempo específico y en una red bajo ciertas condiciones. Por lo tanto, utilizando el ancho de banda como referencia, el *Telkom Polytechnic* define una escala de valores estándar para el rendimiento de una red, listados en la tabla 19.

Tabla 19. Escala de valores estándar de la *Telkom Polytechnic*: Rendimiento

Rendimiento (Estándar)	CATEGORÍA	RENDIMIENTO/ANCHO DE BANDA
	Excelente	100 %
	Bueno	75 %
	Medio	50 %
	Pobre	< 25 %

Fuente: Sugeng, Istiyanto, Mustofa, y Ashari (2015, p. 51)

En lo que respecta a la demora y la fluctuación, es habitual evaluar ambas en conjunto. Por lo tanto, se escoge como referencia el estándar G.114 del Sector de Normalización de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT-T). Los valores indicados en el estándar se referencian en las tablas 20 y 21.

Tabla 20. Escala de valores estándar de la UIT-T G.114: Demora

Demora (Estándar)	CATEGORÍA	DEMORA
	Bueno	0 – 150 ms
	Medio	150 – 400 ms
	Pobre	> 400 ms

Fuente: Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2003)

Tabla 21. Escala de valores estándar de la UIT-T G.114: Fluctuación

Fluctuación (Estándar)	CATEGORÍA	FLUCTUACIÓN
	Bueno	0 – 20 ms
	Medio	20 – 50 ms
	Pobre	> 50 ms

Fuente: Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2003)

Finalmente, la pérdida de paquetes, como parámetro asociado a la calidad de servicio, es evaluado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) en el informe técnico TIPHON TR 101 329, con la escala mostrada en la tabla 22.

Tabla 22. Escala de valores estándar de la TIPHON TR 101 329: Pérdida de Paquetes

Pérdida de Paquetes (Estándar)	CATEGORÍA	PÉRDIDA DE PAQUETES
	Excelente	0 %
	Bueno	3 %
	Medio	15 %
	Pobre	25 %

Fuente: Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (1999)

De forma que para una plataforma de red Mesh con la capacidad de soportar aplicaciones para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular, dada la importancia de capturar el contexto en cada posible instante y de mantener el control sobre diversos dispositivos remotos, se requerirá que el margen de pérdida de paquetes sea excelente, así como también un rendimiento bueno a excelente considerando la transmisión de diversos tipos de tráfico. En lo que respecta a la demora y fluctuación la norma citada, la G.114 de la UIT-T, se enfoca en comunicaciones de voz donde los requerimientos relacionados con estos parámetros son estrictos. Por lo tanto, se considera que un rango medio de demora

y fluctuación dentro de la referida escala puede ser aceptable. Este último pudiera incluso ser tolerable en un rango todavía inferior.

En la tabla 23 que se presenta a continuación se resumen las conclusiones sobre el estado deseado en cada uno de los requerimientos cuantitativos definidos.

Tabla 23. Estado deseado de los requerimientos cuantitativos.

VALOR	RENDIMIENTO (THROUGHPUT)	DEMORA (DELAY)	FLUCTUACIÓN (JITTER)	PÉRDIDA DE PAQUETES
Categoría	Bueno-Excelente	Medio	Medio-Pobre	Excelente
Margen	75 – 100 %	150 – 400 ms	20 – 50 ms	0 % – 3%

La plataforma de red Mesh se encontrará en condiciones estables o normales si mantiene los valores de la tabla 23. Por lo tanto, el diseño se encentra orientado garantizar que la red pueda conservar dicho estado.

5.2 Objetivo II. Análisis situacional de la red existente con aplicación en respuesta a incidentes de seguridad en el municipio Libertador de Caracas, a través de la descripción de los elementos que la conforman.

Los requerimientos definidos buscan establecer las características las cuales la plataforma de red *Mesh* debe satisfacer con la finalidad de dar soporte a una arquitectura para el monitoreo en respuesta al robo y/o hurto de vehículos en el municipio Libertador del Distrito Metropolitano de Caracas. En dicha entidad han existido esfuerzos orientados a la aplicación de tecnología con la finalidad de dar una solución a los diversos eventos que con regularidad comprometen la integridad y seguridad de los ciudadanos desde los últimos años.

Con la finalidad de obtener un enfoque más cercano a la realidad, representada por el municipio Libertador de Caracas, así como conocer tecnologías de seguridad comparables a la que se desea soportar por medio de la red *Mesh* y cuyos elementos pueden instar a la contemplación de ciertos componentes en el diseño de la solución, se procede al siguiente análisis situacional.

5.2.1 Descripción histórica del despliegue de tecnologías de redes con aplicación en el campo de la respuesta a incidentes.

Se han elaborado proyectos de integración de tecnología en procedimientos de seguridad ciudadana cuyo campo de aplicación abarca el municipio Libertador del Distrito Metropolitano de Caracas. No obstante, se debe agregar la particularidad de destacar específicamente aquellos proyectos que involucraron el despliegue de una infraestructura de red para prestar soporte a una o diversas aplicaciones, sistemas y herramientas de seguridad.

Con respecto a la afirmación anterior, uno de los proyectos más notables fue desarrollado por la empresa *Smartmatic*, contratado por la alcaldía mayor o alcaldía metropolitana de Caracas en el año 2007 según reseña la publicación periódica González (2007). Denominado "Sistema Unificado Automatizado de Seguridad y Salud (SUASS)", el proyecto contemplaba la puesta en funcionamiento de una red para soportar alrededor de 209 cámaras a lo largo de 10 sectores de la ciudad capital venezolana.

El proyecto SUASS contempló la construcción de una sala situacional donde distintos cuerpos de seguridad podían recibir alertas tanto por vía telefónica por parte de los ciudadanos como generadas por el sistema, centralizando el ciclo de gestión de incidencias. Posteriormente, en ese mismo año, González (2007) reportó el progreso del proyecto indicando que se habían instalado equipos en sectores de la ciudad ubicados en La Vega, Sabana Grande, Petare, Nuevo Circo, El Paraíso y la plaza Bolívar.

Al cabo de unos años, se planteó un nuevo proyecto para la modernización completa de la plataforma tecnológica empleada por los funcionarios de seguridad a nivel nacional. El proyecto, con el nombre de "Sistema Integrado de Monitoreo y Asistencia (SIMA)" se inició en el año 2013 con la puesta en marcha de dos salas de monitoreo y la instalación de 1.200 cámaras en el municipio Sucre del Distrito Metropolitano de Caracas, con cobertura en el municipio Chacao, seguida de la instalación de un punto de monitoreo en la parroquia El Valle del municipio

Libertador, según lo indicado por el medio Agencia Venezolana de Noticias (AVN) (2013). La proyección del proyecto, desarrollado con el apoyo de la empresa *Ceiec*, fue cubrir 16 estados del país a lo largo de 2 años.

De manera similar al proyecto anterior, SIMA abarca la vigilancia y monitoreo de diversas áreas de alto riesgo y criminalidad desde una sala centralizada o Centro de Comando, Control y Comunicaciones (CCC) a través de las diferentes cámaras instaladas. También se contemplaron otras fuentes de reporte como llamadas telefónicas y botones de alarma dispuestos en ciertos sectores. El CCC recibe información en tiempo real, lo que permite a los diferentes cuerpos de seguridad tomar acciones sobre la base de las emergencias reportadas. (Agencia Venezolana de Noticias, 2013)

En lo que respecta a las tecnologías de telecomunicaciones sobre las cuales se apoya el proyecto SIMA, la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) (2014) indica que existe un soporte basado en redes inalámbricas capaces de transportar voz y datos y de permitir la interoperabilidad entre diferentes regiones o localidades.

CONATEL (2014) indica que el ente ha participado en el proyecto SIMA en temas relacionados a la selección de bandas de frecuencia, reservación de un código telefónico de emergencia nacional, estudios de compatibilidad electromagnética y funcional entre la tecnología LTE y otros servicios de telecomunicaciones y el despliegue de un servicio de mensajería móvil para la divulgación masiva de alertas.

5.2.2 Conceptualización del Modelo Tecnológico.

Partiendo del hecho que los proyectos descritos presentan características en común, se busca modelar a nivel general la forma en que una plataforma tecnológica de esta naturaleza opera soportándose en redes de telecomunicaciones. Dichas características incluyen:

- Medios de Entrada: Elementos capaces de reportar incidentes. Por ejemplo: Usuarios a través de teléfonos móviles, Cámaras, Botón de alarma, etc.

- Centro de procesamiento: Llamado Centro de Comando, Control y Comunicaciones (CCC) en el proyecto SIMA, es el lugar donde se reúnen todos los incidentes reportados y se toman decisiones para su atención.
- Gestión de recursos: Se basa en la comunicación y control entre los operadores del CCC y los cuerpos de seguridad que atienden el incidente o despachados.

En la figura 16 que se presenta a continuación se ilustra entonces el modelo tecnológico general aplicable a los proyectos desplegados en la región.

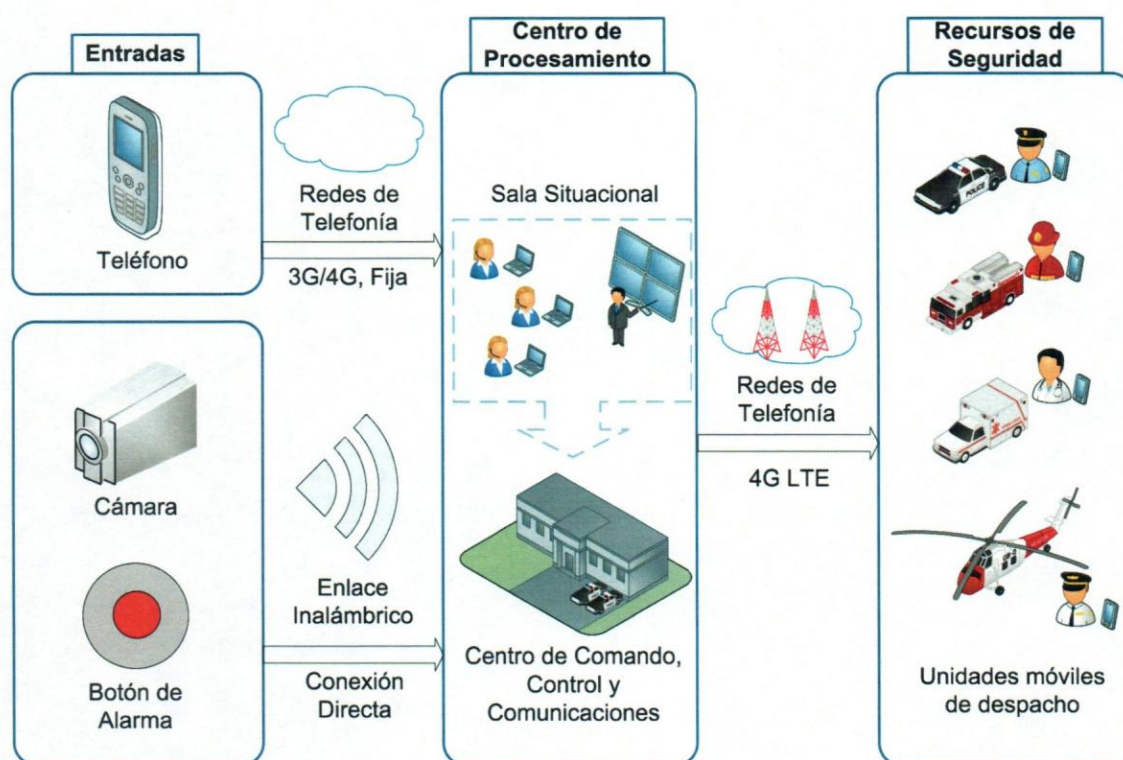


Figura 16. Modelo tecnológico general de proyectos de seguridad

De forma que para completar el modelo tecnológico general presentado, se realizó la incorporación de los elementos de telecomunicaciones que enlazan cada uno de los componentes identificados en los proyectos referidos. Para representar dichos elementos se hizo énfasis en las tecnologías descritas por CONATEL asociadas al proyecto SIMA.

5.2.3 Planteamiento de una estrategia para el desarrollo del diseño de la red *Mesh*.

Sobre la base de los proyectos de seguridad desarrollados en la entidad donde se ubica el estudio y las características tecnológicas comunes a este tipo de despliegues, se plantean los puntos que se desean tomar en común, así como las diferencias según sea el caso:

- Alcance del diseño: La plataforma de red *Mesh* se diseña para satisfacer la correcta operación de los componentes de entrada y de centro de procesamiento, según su identificación en la figura 17.
 - Entrada: Cámaras de red con capacidad de realizar una captura del contexto compatible con un sistema LPR.
 - Centro de Procesamiento: Se adoptará el concepto de Centro de Comando, Control y Comunicaciones (CCC), pero profundizando solo en los detalles necesarios con respecto a la red interna de un recinto de tales características.
 - Enlace Inalámbrico: Todos los contenidos en la topología de red mallada o *Mesh*.
- Interconexión: A pesar de que la plataforma de red *Mesh* se diseña sin partir de una base particular existente, se consideraran los elementos necesarios para permitir la interconexión entre esta plataforma y otras redes.
- Levantamiento de alertas e incidentes: En el caso de la referida plataforma de red *Mesh*, y a diferencia de los proyectos citados, el énfasis radica en soportar las tecnologías necesarias para atender un tipo de incidente en particular como los robos y/o hurtos de vehículos.

En resumen, la plataforma de red *Mesh* brindará una alternativa para soportar una solución a un problema de seguridad en la localidad, no soportado específicamente por otros proyectos desarrollados, pero tomando ciertos aspectos en común (Modo de operación, elementos tecnológicos, etc.) con dichos esfuerzos.

5.3 Objetivo III. Definición de los elementos que forman parte de la plataforma de red *Mesh* para monitoreo vehicular, determinando las características de los enlaces, protocolos y nodos.

Sobre la base del estudio realizado acerca de proyectos similares en el entorno donde se ubica la presente investigación, se obtuvo una dimensión sobre los elementos que generalmente forman parte de este tipo de soluciones y la forma en que pueden representarse orientados al monitoreo en respuesta de incidentes de robo/hurto vehicular.

De forma que se procede a plantear los detalles, características y especificaciones de los elementos que deben formar parte de la plataforma de red *Mesh* para soportar la utilidad para la cual se diseña.

5.3.1 Elaboración del modelo operacional.

En primera instancia, como parte del proceso de definir los elementos que constituirán la red *Mesh*, se debe delimitar el comportamiento esperado de los sistemas que deben apoyarse en la misma para desempeñar la función de monitoreo en respuesta de incidentes de robo y/o hurto de vehículos.

Dado el contexto de la importancia de la *Smart City* dentro de la investigación y de satisfacer el ciclo de gestión de incidencias, el modelo operacional se basa en el marco de sensibilidad al contexto de Raj y Raman (2015) y el ciclo definido por Bharosa (2011). De forma que se tienen los siguientes procesos básicos:

- Captura del contexto y almacenamiento de datos.
- Interpretación de datos y Preparación.
- Respuesta.
- Recuperación y lecciones aprendidas.

De acuerdo a estos procesos, el modelo operativo se comporta según lo mostrado a continuación en la figura 17.

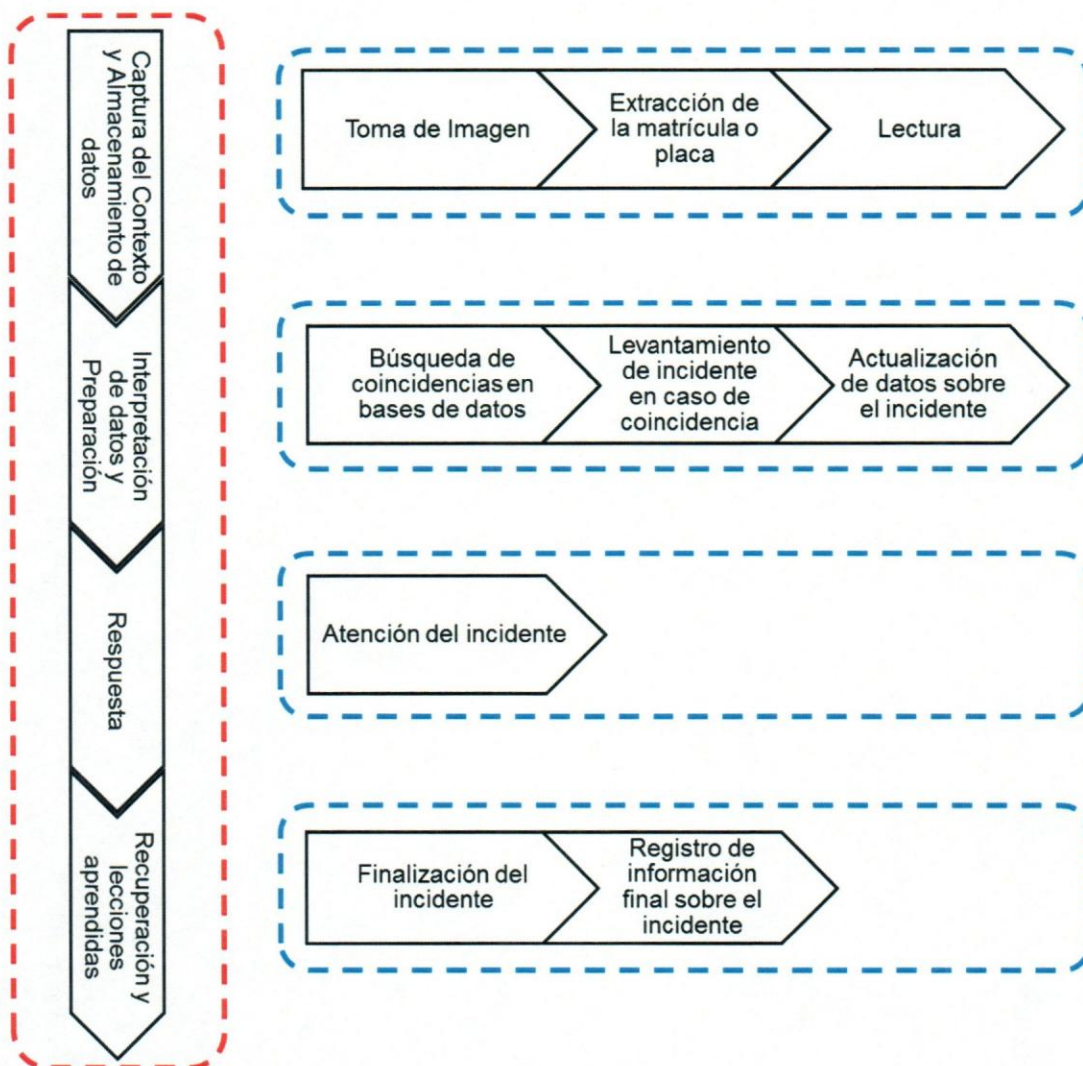


Figura 17. Modelo Operativo del Monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular

Fuente: Adaptado de Iapichino, Câmara, Bonnet y Filali (2011)

Cada uno de los procesos señalados en la figura 17 se encuentra conformado por un conjunto de subprocesos. Dentro de la "Captura del Contexto y Almacenamiento de datos" se tiene:

- **Toma de Imagen:** Hace referencia a la abstracción y adquisición de lo que constituye el entorno y que puede potencialmente dar origen a un incidente. En este caso, es la captura del vehículo y su matrícula.

- Extracción de la matrícula o placa: Por medio de algoritmos dentro del sistema LPR, se extrae y segmenta la información de la matrícula sobre la base de la imagen previamente tomada.
- Lectura: Por medio de las etapas de normalización y coincidencia con plantillas que constituyen el reconocimiento de caracteres de un sistema LPR, la información de la matrícula es convertida a un formato legible por los sistemas involucrados. Finalmente, tanto la parte gráfica como el resultado son transmitidos y almacenados dentro de la plataforma.

Seguidamente, se tiene la “Interpretación de datos y Preparación”, que incluye estos subprocesos:

- Búsqueda de coincidencias en la base datos: Para detectar la posible ocurrencia de una incidencia, se verifica la información de las matrículas contra las bases de datos que contienen registros sobre vehículos solicitados por las autoridades.
- Levantamiento de incidente en caso de coincidencia: Si la matrícula capturada coincide con uno de los registros de la referida base de datos, se ponen en marcha los mecanismos necesarios para responder la nueva incidencia.
- Actualización de datos sobre el incidente: Tareas asociadas al registro formal del incidente incluyendo datos como la ubicación de la última captura, características del vehículo, etc. Dicha información será actualizada por las autoridades a medida que transcurre el incidente.

Posteriormente, ocurre la “respuesta” como consecuencia del levantamiento del incidente. En este caso, se tiene la “Atención del incidente” como los recursos y esfuerzos empleados por las autoridades para solucionar la situación reportada y cuidar las posibles afectaciones que puedan originarse en el entorno de la incidencia.

Por último, se tiene la “Recuperación y lecciones aprendidas”, proceso indispensable para asimilar la experiencia en la resolución del incidente y permitir la evolución del sistema en su aplicación en un entorno de *Smart City*. Este proceso comprende:

- Finalización del incidente: Implica, después de que culmine la atención del incidente, la ejecución de labores destinadas a normalizar o restaurar cualquier condición del sistema o del entorno real que pudo haberse modificado o afectado a medida que transcurría el incidente.
- Registro de información final sobre el incidente: Consiste en una actualización definitiva del registro que recoge toda la información relacionada al incidente. Además de incluir información asociada a las acciones emprendidas por las autoridades y del estado final tanto del vehículo como del entorno donde ocurrió el incidente, también se debe registrar información que permita una operación más eficiente del sistema en caso de que en el futuro ocurra un incidente de características similares.

Dados los procesos, se pueden plantear los elementos necesarios para que estos se puedan desarrollar de la manera esperada.

5.3.2 Identificación de los elementos que conforman del diseño de la red *Mesh*.

Los elementos que formarán parte del diseño de la red *Mesh* se pueden describir en relación a una pila o *stack* de protocolos. En este caso, se toma como referencia una adaptación del modelo planteado por Methley (2009) donde describe una arquitectura de red *Mesh* con base a las siguientes capas: Física (PHY), enlace de datos y control de acceso al medio (MAC), red o enrutamiento, transporte y aplicación.

A continuación, se describen los elementos pertinentes a través de las capas mencionadas:

5.3.2.1 Elementos de la capa física.

En la capa física se encuentran ubicadas las características del medio de transmisión que permiten el envío y recepción de bits entre dos puntos en la red. Aplicado a la red *Mesh*, representaría el lugar de los enlaces inalámbricos que dan forma a la topología particular de este tipo de red. Un elemento fundamental a considerar en la capa física es la formación o construcción de la malla. Desde la perspectiva de los límites físicos, Methley (2009) indica que la malla puede ser lógica o física, y considerando el flujo del tráfico, la malla puede manejar tráfico únicamente interno (*intra-mesh*) o enviar/recibir datos desde o hacia el exterior de la red (*extra-mesh*):

5.3.2.1.1 Elementos de la capa física: Límites físicos.

Una malla física se forma debido a restricciones de diseño, como el uso de antenas direccionales o por los límites existentes en la ruta a través de la cual se transmite una señal, causados por las características del terreno o del medio. Por otro lado, una malla lógica se construye sobre la base de la física y depende en mayor medida de capas superiores en la red. Un ejemplo de este tipo de malla se puede concretar por medio del uso de antenas omnidireccionales.

Para la red *Mesh* que soporta el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular se propone el uso de una malla lógica, particularmente debido a que en la presente investigación la existencia de una restricción física en cualquiera de los nodos o impuesta por el ambiente no condiciona al diseño ni la viabilidad técnica del mismo. Además, el uso de una malla lógica permite una mayor flexibilidad, facilidad de reconfiguración, y se encuentra más extendida en sectores de redes *Mesh* modernos, tales como redes vehiculares y redes de sensores.

5.3.2.1.2 Elementos de la capa física: Flujo del tráfico.

Otro de los elementos de diseño a considerar para construir una topología que amerite el uso de una topología de malla es si el tráfico residirá solo dentro de la misma red o existe la necesidad de acceder a redes externas. El primer tipo se

denomina *intra-mesh*, y todos los recursos de una red bajo esta topología permanecen dentro de la misma red, ya que no existe un requerimiento de conectividad al exterior. El segundo tipo se conoce como *extra-mesh*, donde el tráfico entra o sale de la red por medio de uno o varios nodos conectados a una red pública o privada externa.

Desde esta perspectiva, la red *Mesh* referida en la presente investigación debe tomar una topología más acercada a lo común en la práctica, lo que representa la adopción de una topología híbrida basada en ambos tipos. Por un lado, el tráfico generado por cada punto donde se dé lugar la captura del contexto será transmitido internamente dentro de la red (*intra-mesh*), por otro lado, se debe contemplar la conectividad al punto de procesamiento o CCC, así como la posible interoperabilidad con redes externas de plataformas de seguridad operativas en la entidad (*extra-mesh*).

5.3.2.2 Elementos de la capa de enlace de datos y control de acceso al medio (MAC).

En la capa de enlace de datos residen las técnicas que permiten a cada cliente, punto o nodo en la red acceder al medio físico, que en el caso de la red *Mesh* es la interfaz de aire. Las redes con topologías malladas dependen intrínsecamente en que el tráfico sea transportado por IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g o 802.11n, entre otros. Por lo tanto, utiliza los mecanismos generales de control de acceso al medio de esta serie de estándares.

Según la revisión vigente del estándar 802.11 (IEEE, 2012) la capa MAC se encuentra a su vez dividida en diversas subcapas: la *distributed coordination function* (DCF), la *point coordination function* (PCF), la *hybrid coordination function* (HCF), y la *mesh coordination function* (MCF). El método fundamental de acceso reside en la DCF y es el acceso múltiple con escucha de portadora y evasión de colisiones (CSMA/CA), donde las colisiones son evitadas utilizando un arreglo de escucha antes de hablar llevado a cabo por los mismos nodos de la red, en lugar de una asignación de prioridades o cualquier otro método de coordinación global.

Se debe destacar que en las redes del tipo *Mesh* se hace uso del MCF, una función adicional de coordinación implementadas por las estaciones o nodos *Mesh*. MCF presenta un acceso al canal tanto basado en contención como no basado en contención.

5.3.2.3 Elementos de la capa de red o enrutamiento.

En la tercera capa planteada se presenta la función encargada de determinar que ruta se debe seguir para que los datos sean enviados de un punto a otro. Requiere tanto de un plan de direccionamiento (IP) como de un protocolo de enrutamiento. En una red *Mesh*, el enrutamiento parte de las siguientes premisas:

- Cada nodo es un enrutador o *router*. Una red *Mesh* es comparable a una red *ad-hoc*, donde cada nodo participa en la red no solo como un posible receptor o emisor de tráfico, sino también como repetidor y enrutador, permitiendo la redirección del tráfico a través de los nodos en la red.
- Cada nodo es un repetidor: Para formar una malla, es necesario que cada nodo actúe como repetidor.
- Enrutamiento proactivo y reactivo: Se refiere a las categorías principales de enrutamiento en redes *ad-hoc*. El enrutamiento proactivo está basado en algoritmos de vector distancia y estado del enlace. Los primeros utilizan fundamentalmente la métrica del número de saltos para seleccionar la mejor ruta, mientras que el segundo es más complejo y requiere que cada nodo enrutador construya un mapa de la red. Por otro lado, el enrutamiento reactivo es un enfoque alternativo donde las rutas se construyen bajo demanda.

En las redes *Mesh* se encuentra ampliamente difundido el protocolo de red *Mesh* híbrido o *Hybrid Wireless Mesh Protocol* (HWMP) (Hiertz, et. al., 2010), el cual combina la operación concurrente de un enfoque proactivo basado en árbol con un método de selección de ruta distribuido bajo demanda o reactivo (basado en el

protocolo de vector distancia ad-hoc bajo demanda o AODV). El modo proactivo requiere que una estación *Mesh* sea configurada como raíz o *root*, la cual se encargará de propagar mensajes de enrutamiento ya sea para establecer y mantener rutas hacia todas las estaciones en la red o simplemente para habilitar a las estaciones *Mesh* en la creación de rutas hacia ella misma. Cuando las rutas se encuentran establecidas, las estaciones *Mesh* pueden utilizar la porción AODV del protocolo para evitar la redirección por parte del nodo raíz. Además, si el nodo raíz no se encuentra disponible, también se hace uso de AODV, siempre y cuando la preparación inicial llevada a cabo por nodo mencionado se haya realizado.

5.3.2.4 Elementos de las capas de transporte y aplicación.

Methley (2009) considera estudiar ambas capas en conjunto, ya que es idóneo considerar un protocolo de transporte en conjunto con el tipo de tráfico que se desea transportar. En el caso de la red *Mesh* descrita en la presente investigación para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular, se desea primordialmente transmitir la información generada por la captura del contexto. Esta información puede ser tanto gráfica (cámaras de red que toman imágenes y/o vídeo) como textual (después de aplicarse los algoritmos de reconocimiento de caracteres como parte de los procesos de LPR).

Los protocolos en este caso son ampliamente similares a los utilizados en Internet y otras redes establecidas, como el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y el protocolo de flujo en tiempo real (RTSP) para diversas aplicaciones multimedia comerciales. TCP es un protocolo orientado a conexión, es decir, que primero establece una conexión con el destino antes de entregar los paquetes. Después de que se transfieren los datos, la conexión se termina. Es un método más confiable que el protocolo de datagramas de usuario (UDP), un protocolo de capa de transporte no orientado a conexión donde cada segmento se trata como un paquete independiente y se envía al destino. No obstante, existen ciertos casos donde se pueden tolerar pérdidas y evitar los posibles retrasos debido a TCP, como en la transmisión de vídeo.

5.3.3 Determinación de la topología de red *Mesh*.

Considerando los elementos que deben caracterizar la propuesta y el modelo operativo que ha de satisfacer, se procede a través de la determinación de la prefactibilidad de una topología que configure el diseño de la referida plataforma de comunicaciones para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo/hurto vehicular. Para ello, se considerarán 3 opciones donde la mayor diferencia entre ellas radica en el grado de reutilización de las tecnologías desplegadas en el municipio Libertador de Caracas. A continuación, se describen cada una de ellas, empezando por la definición de la opción de referencia o patrón.

5.3.3.1 Referencia: Mantener la plataforma tecnológica y de telecomunicaciones actual en su totalidad (“no hacer nada”).

La opción de referencia consiste en mantener toda aquella infraestructura que se encuentre instalada y operativa en el lugar, a raíz del o los proyectos de seguridad que se han desarrollado en la entidad en los últimos años. Esta opción implica no modificar ninguno de los elementos existentes y reutilizar dichas tecnologías para brindar el servicio de monitoreo vehicular.

5.3.3.1.1 Ventajas y desventajas:

En la tabla 24 se listan las posibles ventajas y desventajas de utilizar la opción de referencia:

Tabla 24. Ventajas y Desventajas – Opción Referencia.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Riesgos de implementación bajos.	Inflexibilidad para adaptar la red a nuevos requerimientos.
Costos de implementación bajos.	Problemas de escalabilidad.
	Se utilizaría una infraestructura tecnológica no diseñada sobre la base del marco de sensibilidad al contexto.
	Es probable que la red no presente todos los elementos necesarios para soportar las características deseadas.
	No se puede garantizar una operación confiable.

5.3.3.1.2 Desarrollo.

A nivel general, los pasos a llevar a cabo para implementar esta opción serían los siguientes:

- a. Realizar un inventario de la red actual.
- b. Determinar la cantidad de equipos operativos en estado óptimo, regular y equipos no funcionales.
- c. Llevar a cabo labores de mantenimiento y sustitución de hardware/software, en aquellos casos donde se hayan identificado elementos no funcionales.
- d. Instalar actualizaciones y parches de seguridad en los equipos que presentan un ciclo de vida vigente.
- e. Instalar los componentes de software necesarios para llevar a cabo el monitoreo de vehículos mediante el uso del hardware y red existente.
- f. Llevar a cabo la prueba de concepto y determinar la viabilidad de la opción.

5.3.3.1.3 Premisas de riesgo.

Para estimar la viabilidad de la opción, se asumen las premisas de la tabla 25 acorde a las características previamente definidas:

Tabla 25. Premisas de riesgo – Opción Referencia.

PREMISA	ESTADO
Ciclo de vida	Fin de ciclo
Cantidad de <i>Hardware/Software</i> nuevo requerido	Bajo
Pago de equipos y licencias	Bajo a intermedio
Personal: Implementación y Gestión 1/	320 horas/hombre
Personal: Adiestramiento y Soporte 1/	160 horas/hombre
Calidad de los datos	Pobre

1/: 2 técnicos en la implementación y 1 en el adiestramiento (1 mes).

5.3.3.2 Opción 1: Mantener la mayor parte de la infraestructura, implementar solo los dispositivos y clientes que incorporen de forma dedicada a la plataforma el monitoreo vehicular dentro de la red actual.

La opción 1 se plantea sobre la base de realizar la cantidad mínima de cambios en la infraestructura tecnológica existente, pero a diferencia de la opción de referencia, nuevos equipos y dispositivos son incorporados para realizar la detección y monitoreo de los vehículos, incluyendo el almacenamiento y bases de datos requeridos, teniendo en cuenta que la capacidad de hacer cambios se encuentra limitada por lo permitido por la plataforma en operación.

5.3.3.2.1 Factibilidad Técnica.

La factibilidad técnica viene dada por la consideración de los siguientes puntos:

- ¿Existen los recursos de hardware, software y de red necesarios?: Sí, pero solo hasta cierto nivel. Las nuevas implementaciones pueden sobrepasar las especificaciones de la red actual, para lo cual se requerirían nuevos recursos.
- ¿Existirá la experticia técnica necesaria para implementar la opción?: Sí, ya que se reutiliza la plataforma existente en casi su totalidad.
- ¿La opción presenta suficiente capacidad para necesidades futuras?: No. Incluso es posible que la capacidad actual se vea comprometida.
- ¿La opción permitirá la interoperabilidad con sistemas y plataformas externas?: No es posible determinar la interoperabilidad. Es posible que la plataforma no admita otro tipo de clientes y nodos para los cuales no fue diseñada.
- ¿Existen expectativas claramente definidas de rendimiento para esta opción?: No. En todo caso se mantienen los requerimientos de rendimiento bajo los cuales opera la plataforma existente, los cuales fueron definidos sin considerar la implementación propuesta.

5.3.3.2.2 Ventajas y desventajas.

En la tabla 26 se listan las posibles ventajas y desventajas de utilizar la opción 1:

Tabla 26. Ventajas y Desventajas – Opción 1.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Rápido tiempo de despliegue.	Capacidades de escalabilidad claramente limitadas.
Los riesgos de implementación son manejables.	Posibilidad de perjudicar la operación de la plataforma actual.
El margen de adopción de las nuevas tecnologías sería bajo.	Posibilidad de perjudicar la operación de la plataforma actual.
	Problemas de compatibilidad entre las nuevas incorporaciones y la plataforma actual, a no ser que se realicen cambios notables.

5.3.3.2.3 Desarrollo.

A nivel general, los pasos a llevar a cabo para implementar esta opción serían los siguientes:

- a. Realizar un inventario de la red actual.
- b. Determinar la cantidad de equipos operativos en estado óptimo, regular y equipos no funcionales.
- c. Llevar a cabo labores de mantenimiento y sustitución de hardware/software, en aquellos casos donde se hayan identificado elementos no funcionales.
- d. Instalar actualizaciones y parches de seguridad en los equipos que presentan un ciclo de vida vigente.
- e. Incorporar a la plataforma los equipos especializados para el monitoreo vehicular, tales como cámaras de red dedicadas para el proceso de LPR, servidores de bases de datos, etc.
- f. Implementar los elementos de red necesarios para interconectar los equipos incorporados.
- g. Instalar los componentes de software necesarios.
- h. Llevar a cabo la prueba de concepto y determinar la viabilidad de la opción.

5.3.3.2.4 Topología general.

La topología de la red para la opción 1 correspondería a una red inalámbrica punto a multipunto, basada en la red vigente. Se muestra de forma generalizada en la figura 18. Se omite la porción de la red correspondiente a la interconexión con unidades móviles ya que no forma parte del alcance de la presente opción.

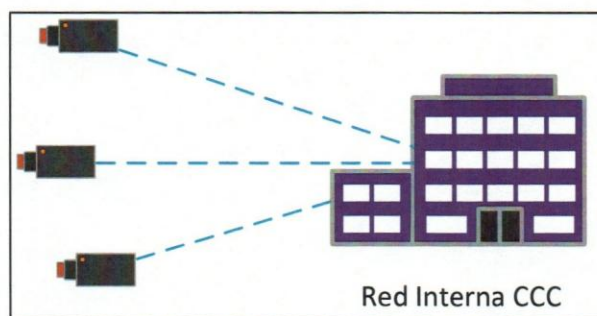


Figura 18. Topología general opción 1

5.3.3.2.5 Premisas.

Para estimar la viabilidad de la opción, se asumen las premisas de la tabla 27 acorde a las características previamente definidas:

Tabla 27. Premisas de riesgo – Opción 1.

PREMISA	ESTADO
Ciclo de vida	Intermedio
Cantidad de <i>Hardware/Software</i> nuevo requerido	Bajo
Pago de equipos y licencias	Intermedio
Personal: Implementación y Gestión 1/	480 horas/hombre
Personal: Adiestramiento y Soporte 1/	160 horas/hombre
Calidad de los datos	Intermedio

1/: 3 técnicos en la implementación y 1 en el adiestramiento (1 mes).

5.3.3.3 Opción 2: Asumir que no existe un despliegue tecnológico en el entorno, diseñar toda la plataforma por completo.

La opción 2 surge de la premisa de que la topología propuesta cubre todo el despliegue de la plataforma de red, desde la infraestructura necesaria para soportar la operatividad de los dispositivos que permiten capturar el contexto hasta las comunicaciones entre los agentes involucrados en la atención del incidente. Bajo esta perspectiva, se asume que no existe una plataforma de características similares en el entorno.

5.3.3.3.1 Factibilidad Técnica.

La factibilidad técnica viene dada por la consideración de los siguientes puntos:

- ¿Existen los recursos de hardware, software y de red necesarios?: No. Supondría un reto reunir todos los elementos requeridos.
- ¿Existirá la experticia técnica necesaria para implementar la opción?: No. Se requerirá de un factor humano especialmente dedicado para crear una base técnica con los involucrados en el despliegue, mantenimiento y operación de toda la plataforma de red.
- ¿La opción presenta suficiente capacidad para necesidades futuras?: Sí. La plataforma se puede diseñar para funcionar como base de futuras instalaciones, además de contemplar adecuada escalabilidad.
- ¿La opción permitirá la interoperabilidad con sistemas y plataformas externas?: No. La plataforma se diseña asumiendo que no funcionará en conjunto con otros despliegues similares existentes.

- ¿Existen expectativas claramente definidas de rendimiento para esta opción?: Sí. La plataforma se diseñaría para satisfacer requerimientos especialmente definidos para una arquitectura de su naturaleza.

5.3.3.3.2 Ventajas y desventajas.

En la tabla 28 se listan las posibles ventajas y desventajas de utilizar la opción 2:

Tabla 28. Ventajas y Desventajas – Opción 2.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Completa flexibilidad en el diseño. Se puede, por ejemplo, plantear que la red de tipo <i>Mesh</i> comunique la plataforma entera, no solo los terminales que constituyen las entradas de información, sino también el resto de los componentes operativos.	Riesgos de implementación elevados.
Permite asegurar un buen rendimiento, dada la definición de los requerimientos específicos que se necesitan que la plataforma soporte.	El tiempo de desarrollo de un proyecto basado en esta opción sería a muy largo plazo.
Solución que puede representar el estado del arte.	La interoperabilidad con otros sistemas o plataformas existentes presenta alta complejidad.
	Probabilidades de que la plataforma no se logre implementar por completo dadas sus dimensiones.
	Dependencia completa en una sola entidad, especialmente si se asume que la opción planteada es tan solo la base para la posterior integración de otros sistemas y/o tecnologías de seguridad.

5.3.3.3.3 Desarrollo.

A nivel general, los pasos a llevar a cabo para implementar esta opción serían los siguientes:

- a. Estudiar las condiciones físicas del entorno.
- b. Diseñar toda la topología de red, abarcando toda la plataforma desde la captura del contexto, procesamiento y respaldo en Centro de Comando, Control y Comunicaciones hasta comunicación con unidades móviles.
- c. Determinar las características ideales de los enlaces sobre la base de las condiciones del entorno: inalámbrico o cableado, punto a punto o *Mesh*, etc.

- d. Llevar a cabo el despliegue de los elementos de red, hardware y software requeridos.
- e. Incorporar a la plataforma los equipos especializados para el monitoreo vehicular, tales como cámaras de red dedicadas para el proceso de LPR, servidores de bases de datos, etc.
- f. Llevar a cabo la prueba de concepto y determinar la viabilidad de la opción.

5.3.3.3.4 Topología general.

La topología de la red para la opción 2 se encuentra orientada a ofrecer el mejor rendimiento, pudiendo ser una red del tipo *Mesh* o cualquier otro tipo de topología. Dadas las posibilidades, se representa de la siguiente manera en la figura 19.

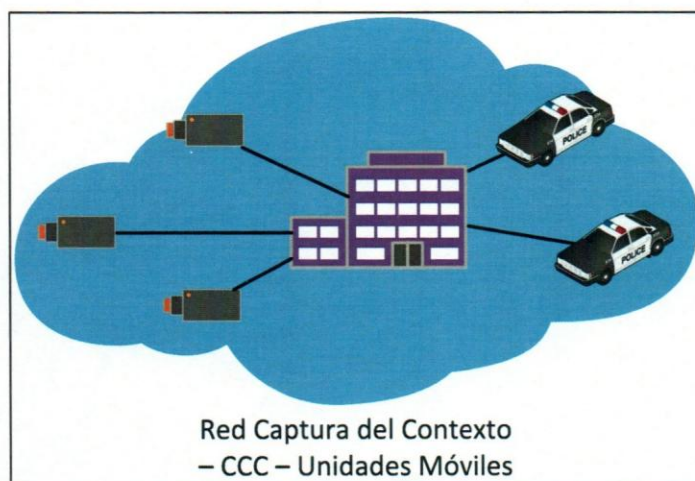


Figura 19. Topología general opción 2

5.3.3.3.5 Premisas.

Para estimar la viabilidad de la opción, se asumen las premisas de la tabla 29 acorde a las características previamente definidas:

Tabla 29. Premisas de riesgo – Opción 2.

PREMISA	ESTADO
Ciclo de vida	Inicial
Cantidad de <i>Hardware/Software</i> nuevo requerido	Elevado
Pago de equipos y licencias	Elevado
Personal: Implementación y Gestión 1/	1600 horas/hombre
Personal: Adiestramiento y Soporte 1/	960 horas/hombre
Calidad de los datos	Óptima

1/: 10 técnicos en la implementación y 6 en el adiestramiento (1 mes).

5.3.3.4 Opción 3: Implementar la red que soporte a los dispositivos que realizan el monitoreo vehicular, interconectar con la infraestructura existente del CCC y comunicación con cuerpos de seguridad.

La opción 3 se define como un punto intermedio entre las opciones 1 y 2. Se plantea diseñar toda la arquitectura de red que permite la operación de los elementos capaces de capturar el contexto y realizar su posterior análisis y, por otro lado, enlazar con los componentes de red existentes en el CCC y que habilitan las comunicaciones con el resto del modelo operativo.

5.3.3.4.1 Factibilidad Técnica.

La factibilidad técnica viene dada por la consideración de los siguientes puntos:

- ¿Existen los recursos de hardware, software y de red necesarios?: Sí. Dado el grado de independencia entre las redes, la cantidad de recursos requerida para la puesta en marcha de la red propuesta es flexible acorde a las necesidades y capacidades existentes.
- ¿Existirá la experticia técnica necesaria para implementar la opción?: Sí. Dado que se comparte un componente de la plataforma considerable con la implementación actual, los involucrados tendrán una base técnica suficiente para adoptar la propuesta.
- ¿La opción presenta suficiente capacidad para necesidades futuras?: Sí, hasta cierto nivel. Al gestionar el componente de la arquitectura de red propuesta por separado de la existente, se puede dimensionar sus características de forma que admita futuras adiciones y funciones por parte de sus terminales. No obstante, la red existente puede que no evolucione al mismo ritmo que la propuesta.
- ¿La opción permitirá la interoperabilidad con sistemas y plataformas externas?: Sí. El diseño modular permitirá desplegar el elemento que enlaza ambas redes y que puede proporcionar la base para la interconexión con otros sistemas o redes externas.

- ¿Existen expectativas claramente definidas de rendimiento para esta opción?: Sí. El componente de la plataforma propuesto se adhiere a requerimientos de rendimiento definidos, tomando en cuenta las características particulares de esta opción.

5.3.3.4.2 Ventajas y desventajas.

En la tabla 30 se listan las posibles ventajas y desventajas de utilizar la opción 3:

Tabla 30. Ventajas y Desventajas – Opción 3.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite mantener la operatividad de la plataforma vigente sin afectar su rendimiento.	Si la red presente contiene dispositivos de red (capa 2/capa 3) operativos en obsolescencia o cuya capacidad de manejar tráfico es reducida, la interoperabilidad con estos elementos puede resultar compleja.
Se combina parte de la flexibilidad del diseño de la red que soporta los dispositivos que capturan el contexto con la estabilidad del resto de la red ya establecida.	Se debe procurar que, por lo menos, los requerimientos de una parte de la red sean compatibles con los establecidos en la otra parte de la red.
Posibilita la integración entre plataformas tecnológicas, lo cual es determinante en el contexto de la <i>Smart City</i> .	
El diseño modular permite una gestión de la red más sencilla y eficiente. Por ejemplo, mayor facilidad en la detección y aislamiento de fallas, optimización de los tipos de tráfico transmitidos, etc.	
Presenta un alto grado de escalabilidad.	

5.3.3.4.3 Desarrollo.

A nivel general, los pasos a llevar a cabo para implementar esta opción serían los siguientes:

- a. Estudiar las condiciones físicas del entorno.
- b. Realizar un inventario de la red actual.
- c. Diseñar la topología de red, abarcando desde la captura del contexto hasta el elemento de enlace con el CCC.
- d. Determinar la cantidad de equipos operativos en estado óptimo, regular y equipos no funcionales.
- e. Llevar a cabo labores de mantenimiento y sustitución de hardware/software, en aquellos casos donde se hayan identificado elementos no funcionales.

- f. Instalar actualizaciones y parches de seguridad en los equipos que presentan un ciclo de vida vigente.
- g. Determinar las características ideales de los enlaces inalámbricos de la red *Mesh* sobre la base de las condiciones del entorno.
- h. Llevar a cabo el despliegue de los elementos de red, hardware y software requeridos.
- i. Incorporar a la plataforma los equipos especializados para el monitoreo vehicular, tales como cámaras de red dedicadas para el proceso de LPR, servidores de bases de datos, etc.
- j. Llevar a cabo la prueba de concepto y determinar la viabilidad de la opción.

5.3.3.4.4 Topología general.

La topología de la red para la opción 3 correspondería a una red capaz de brindar soporte adecuado a la captura del contexto e interconectar con el resto de la red existente. Para esta opción se utilizará estrictamente la topología del tipo *Mesh*. Se muestra de forma generalizada en la figura 20. Se omite la porción de la red correspondiente a la interconexión con unidades móviles ya que no forma parte del alcance de la presente opción.

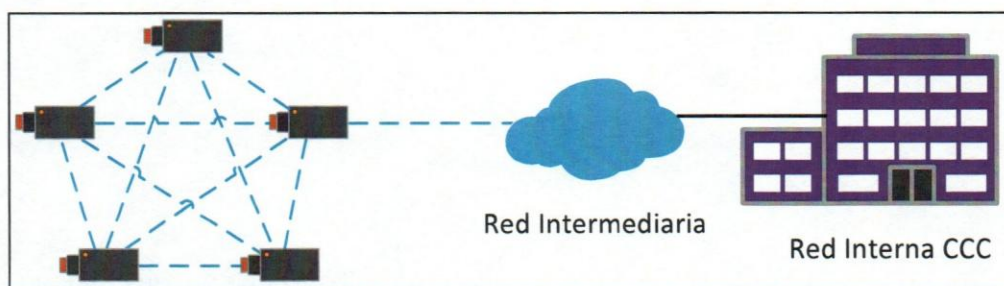


Figura 20. Topología general opción 3

5.3.3.4.5 Premisas.

Para estimar la viabilidad de la opción, se asumen las premisas de la tabla 31 acorde a las características previamente definidas:

Tabla 31. Premisas de riesgo – Opción 3.

PREMISA	ESTADO
Ciclo de vida	Inicial a Intermedio
Cantidad de <i>Hardware/Software</i> nuevo requerido	Intermedio
Pago de equipos y licencias	Intermedio
Personal: Implementación y Gestión 1/	960 horas/hombre
Personal: Adiestramiento y Soporte 1/	480 horas/hombre
Calidad de los datos	Óptima

1/: 6 técnicos en la implementación y 3 en el adiestramiento (1 mes).

5.3.3.5 Comparación de las opciones.

Cada una de las opciones descritas se compararán entre ellas y con la opción de referencia sobre la base de como satisfacen las características clave que debe presentar la red propuesta. Dichas características son las enmarcadas dentro de los requerimientos cualitativos definidos. A continuación, se presenta dicha comparación en la tabla 32

Tabla 32. Comparación de Opciones: Requerimientos.

REQUERIMIENTO	REFERENCIA	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Enrutamiento y Direccionamiento				
Disponibilidad				
Seguridad y Restricción de Acceso				
Gestión de Red				
Tolerancia a Fallas				
Soporte de Tráfico				
Terminales y Nodos				
Topología				
Legenda				
No cumple con el criterio 	Cumple parcialmente con el criterio 	Cumple con el criterio 		

Fuente: Adaptado de Universidad de Adelaida (2014)

Por otro lado, las premisas planteadas para cada opción se comparan a continuación en la tabla 33, según los criterios establecidos en el anexo 1. A mayor puntaje, menor es el riesgo asociado a la opción.

Tabla 33. Comparación de Opciones: Premisas y Riesgo.

PREMISA	REFERENCIA	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
Ciclo de vida	2,5	5	10	7,5
Cantidad de <i>Hardware/Software</i> nuevo requerido	2	2	0	1
Pago de equipos y licencias	7,5	5	0	5
Personal: Implementación y gestión	10	10	0	5
Personal: Adiestramiento y soporte	6	6	0	5
Calidad de los datos	0	3	6	6
TOTAL	28	31	16	29,5

Fuente: Adaptado de Universidad de Adelaida (2014)

Dada las tablas 32 y 33, se derivan las siguientes conclusiones:

- Todas las opciones cumplen con mayor cantidad de criterios que la opción de referencia, lo que demuestra la posible pre-factibilidad de cualquiera de las opciones.
- Mediante la opción 1 no es posible satisfacer los requerimientos de disponibilidad, gestión de red, soporte de tráfico y topología. En el caso de los dos primeros, se debe a que la flexibilidad para hacer cambios en la red existente es prácticamente nula, lo que imposibilita cualquier intento de rediseñar los enlaces existentes, así como de realizar cambios basados en tareas de gestión de la red.

Por otro lado, se asumen que, al implementar las nuevas características de la red mediante esta opción, se cumplen, al menos de forma parcial, los requerimientos de enrutamiento y direccionamiento, seguridad y control de acceso, tolerancia a fallas, y terminales y nodos. Se considera que solo de forma parcial ya que no es posible modificar la red para cumplir de la manera más eficiente con los nuevos despliegues.

En comparación con las otras opciones, la opción 1 es la que presenta menor riesgo.

- La opción 2, que implica el diseño de toda la plataforma sin partir de una base, cumple de forma favorable con la mayoría de los requerimientos. Esto

es debido esencialmente a que se pueden tomar una variedad de decisiones para satisfacer los diferentes requerimientos. No obstante, se observa con cuidado los requerimientos de gestión de la red y tolerancia a fallas, donde se asume un cumplimiento parcial. En el caso del primero, la gestión se vuelve realmente compleja ya que se debe contemplar una plataforma centralizada que en un principio soporte el monitoreo con respuesta al robo/hurto vehicular, y posteriormente, nuevas aplicaciones y servicios para complementar los sistemas de seguridad de la ciudad.

Con respecto a la tolerancia a fallas, también se puede atribuir su cumplimiento a la complejidad resultante, dado que cualquier tipo de error y situación de funcionamiento anómalo puede tener mayores probabilidades de producirse en tales condiciones. Además, si la plataforma intenta centralizar diferentes aplicaciones y tipos de tráfico en una sola red, la recuperación después de una falla puede ser un proceso complejo.

Por último, dadas las dimensiones de la opción 2, resultó la opción percibida como de mayor riesgo.

- La opción 3, considerada el punto intermedio entre las dos opciones anteriores, presenta un cumplimiento de objetivos comparable con la opción 2 e incluso mejora en los dos requerimientos considerados de cumplimiento parcial de dicha opción. Esto se debe a que la flexibilidad que otorga es suficiente para cumplir con los requerimientos de la manera más eficiente, además del diseño modular que facilita la gestión de red y mejora la tolerancia a fallas. El riesgo de la opción 3 es mayor que el de la opción 1 pero menor que el de la opción 2 y la referencia.

Se considera la opción 3 la que mejor responde a los requerimientos definidos, y considerando su proporción de ventajas contra desventajas, se considera dicha opción como factible técnicamente para constituir el diseño de la plataforma de red

para el monitoreo en respuesta al robo/hurto de vehículos. Desde la perspectiva del riesgo, la opción 3 es la segunda de menor riesgo.

5.3.4 Desarrollo de las especificaciones de la red *Mesh*.

Especificado en la opción 3, valorada como la más factible técnicamente, se procede a desarrollar la porción de la red que contiene a los equipos y nodos que soportan directamente el monitoreo vehicular. Dicha porción es la que corresponde al desarrollo de la red del tipo *Mesh* cuyos elementos han sido definidos.

En cuanto a especificaciones se refiere, una red *Mesh* diseñada para un ambiente exterior se compone de múltiples *Access Points* (AP) o puntos de acceso para proveer un entorno seguro, estable y escalable. Existen básicamente dos tipos de AP: *Root Access Point* (RAP) o Punto de Acceso Raíz y *Mesh Access Point* (MAP) o Punto de Acceso como estación *Mesh*. Todas las redes *Mesh* deben presentar al menos un RAP, el cual se comunica de forma cableada con un nodo que ejerce las funciones de *Wireless Controller* o controlador inalámbrico y constituye el elemento intermediario entre la porción *Mesh* y el resto de la red. Por otro lado, los MAP se comunican entre ellos y con uno o varios RAP utilizando conexiones inalámbricas por medio de un *backhaul* 802.11 n/ac.

Cisco Systems, Inc. (2015) recomienda las siguientes especificaciones:

- El despliegue de MAPs no puede exceder más de 35 pies sobre el nivel de la calle.
- Los MAPs se despliegan con las antenas apuntando en dirección al suelo.
- Las distancias típicas de RAP-a-MAP a 5 GHz oscilan entre 1000 a 4000 pies.
- Las ubicaciones de los RAP suelen ser torres o edificios altos.
- Las distancias típicas de MAP-a-MAP a 5 GHz oscilan entre 500 a 1000 pies.
- Las ubicaciones típicas de los MAP incluyen edificios pequeños o semáforos.
- Las distancias típicas de MAP-a-Clientes a 2.4 GHz oscilan entre 500 a 1000 pies (depende del tipo de *Access Point*).
- La mayor parte de los clientes operan en la banda de los 2.4 GHz.

En el caso de la red *Mesh* contemplada en el presente estudio, las recomendaciones citadas son aceptables y adaptadas con la particularidad de que los dispositivos clientes se encuentran claramente definidos. Estos son las cámaras especializadas para realizar el proceso de captura del esquema LPR, así como los medios de almacenamiento y/o procesamiento *in situ*.

Los clientes mencionados se enlazarán de forma inalámbrica por medio de un enlace ubicado en la banda de los 2.4 GHz a los MAP, cuyo acceso a la red es manejado por un mecanismo de autenticación MAC en el que los puntos de acceso *Mesh* son añadidos a una base de datos que puede ser referenciada para asegurar que se les proporciona acceso a un controlador inalámbrico dado y a la red *Mesh*.

En lo que enrutamiento se refiere, puede variar dependiendo del fabricante. Por ejemplo, Cisco Systems, Inc. (2015) implementa para los MAP el *Cisco Adaptive Wireless Path Protocol* (AWPP) o protocolo de ruta inalámbrica adaptativa de Cisco, para determinar la mejor ruta a través de otros puntos de acceso hasta el controlador. Se debe agregar que las comunicaciones seguras punto a punto son soportadas en una arquitectura *Mesh* por medio de comunicaciones cifradas AES entre los diferentes puntos de acceso.

En la figura 21 se presenta la topología de red que mejor representa las especificaciones definidas. Los elementos que representan la interfaz entre los RAP de la red *Mesh* y la otra porción de la red representada por los componentes de interconexión dentro del CCC y su comunicación con otros sistemas y plataformas externos se representan por medio de una nube. Estos elementos incluyen los controladores inalámbricos y otras tecnologías cuya implementación puede presentar diversas particularidades dependiendo del fabricante. Por otro lado, se debe aclarar que dado que se escogió la opción 3 o intermedio constituido por el diseño en su totalidad de una red (*Mesh*) y la reutilización de otra red existente (CCC y más allá), esta última red se representa de forma sintetizada en la topología ya que no será objeto de prueba en la presente investigación, asumiéndose que es un componente funcional y cuya capacidad de modificación o alteración se encuentra supeditada a posibilidades que se extienden del alcance definido en la opción 3.

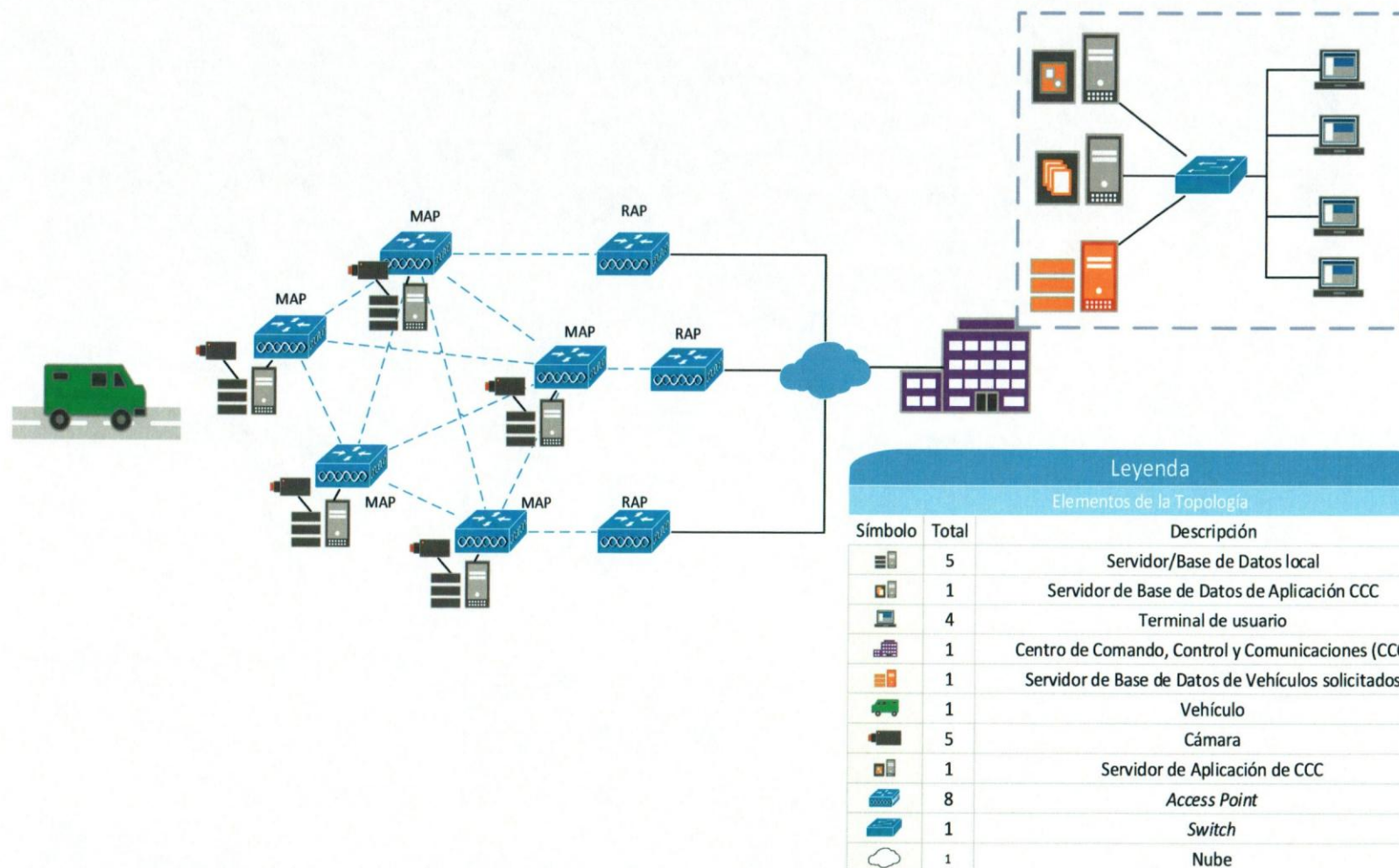


Figura 21. Topología y Especificaciones de la red *Mesh*.

Sobre la base de la topología presentada, que representa la abstracción de todos los elementos y especificaciones definidas, es posible simular un modelo por medio de pruebas de concepto para determinar el comportamiento de la red.

5.4 Objetivo IV. Precisión de pruebas de concepto para la simulación de la plataforma de red *Mesh*, mediante la especificación de diversos escenarios, con la finalidad de cerciorarse de su correcto funcionamiento en una eventual implementación.

En las etapas que conforman el diseño de una red se encuentra la prueba de concepto como el procedimiento que permite determinar si la red planteada cumple con los requerimientos definidos para las prestaciones que ha de soportar. En la presente investigación, las pruebas de concepto se encuentran enmarcadas en un entorno de simulación por *software*.

La herramienta de simulación por *software* utilizada es *Riverbed Modeler* anteriormente conocido como *OPNET Modeler*. Este simulador ofrece diversas utilidades para diseñar y simular el modelo, permitiendo la aplicación de técnicas de análisis y minería de datos. La simulación de una red por medio del referido *Software* permite experimentar con la construcción de la red en un entorno resultante de la abstracción de la complejidad del mundo real, a la vez que permite el estudio de los componentes de la red en sus diversas capas, elementos y protocolos.

Considerando los requerimientos definidos, así como las características de la topología de red *Mesh* escogida, se seguirá el flujo de trabajo regular del *Riverbed Modeler* para realizar las pruebas de concepto. El flujo de trabajo consiste en los siguientes pasos:

- a. Crear el modelo de red.
- b. Escoger y definir estadísticas o parámetros.
- c. Ejecutar las simulaciones.
- d. Obtener y analizar los resultados.

A continuación, con la finalidad de cumplir con el flujo de trabajo indicado, se inicia con la definición del entorno de pruebas. Dado que las características generales del modelo de red, así como los parámetros de interés, han sido definidos a lo largo de la investigación, se indicará en todo caso cuáles son los elementos del simulador que permiten representar y medir, según sea el caso, dichas propiedades.

5.4.1 Descripción del entorno de pruebas.

Para las simulaciones en la presente investigación, se utiliza la versión 17.5.A PL6 de *Riverbed Modeler*. El modelo de red *Mesh* presenta enlaces basados en el estándar 802.11g, según lo soportado en el simulador y lo definido en puntos anteriores. Este modelo incluye varios modelos de nodos: estación de trabajo inalámbrica, *Access Points* o puntos de acceso, entre otros.

El objetivo del caso a simular es probar el desempeño de una plataforma de monitoreo vehicular y analizar el comportamiento de la red. Las prestaciones principales a soportar incluyen *streaming* de medios (imágenes y/o video según sea el caso), FTP y consultas en bases de datos. El modelo de red se encontrará conformado por seis (06) puntos de acceso MAP y dos (02) puntos de acceso RAP. Cada punto de acceso MAP soportará su respectivo cliente de monitoreo, conformado por la cámara especializada para el proceso de LPR, almacenamiento local y, según sea el caso, base de datos local de vehículos solicitados. La distancia entre cada MAP variará entre 100 a 500 metros, en un área de 1000x1000 metros.

Dado que el entorno físico para la cual está destinada la referida red *Mesh* es el Municipio Libertador de la ciudad de Caracas, se procede a trasladar un esquema general de la topología en un sector de la localidad. Dado que es una prueba de concepto, tan solo se seleccionará el espacio que cumpla con las condiciones físicas mencionadas. En este caso se selecciona un sector que corresponde a la localidad de Sabana Grande, en la parroquia El Recreo. Se asume que la conexión con el CCC se realizará por medio de una red existente (Internet, o una red privada existente) y que las condiciones del ambiente para el establecimiento de los enlaces son ideales.

En la figura 22 se muestra un mapa de la localidad, con los AP señalados, donde los puntos negros representan los MAP y los verdes los RAP.

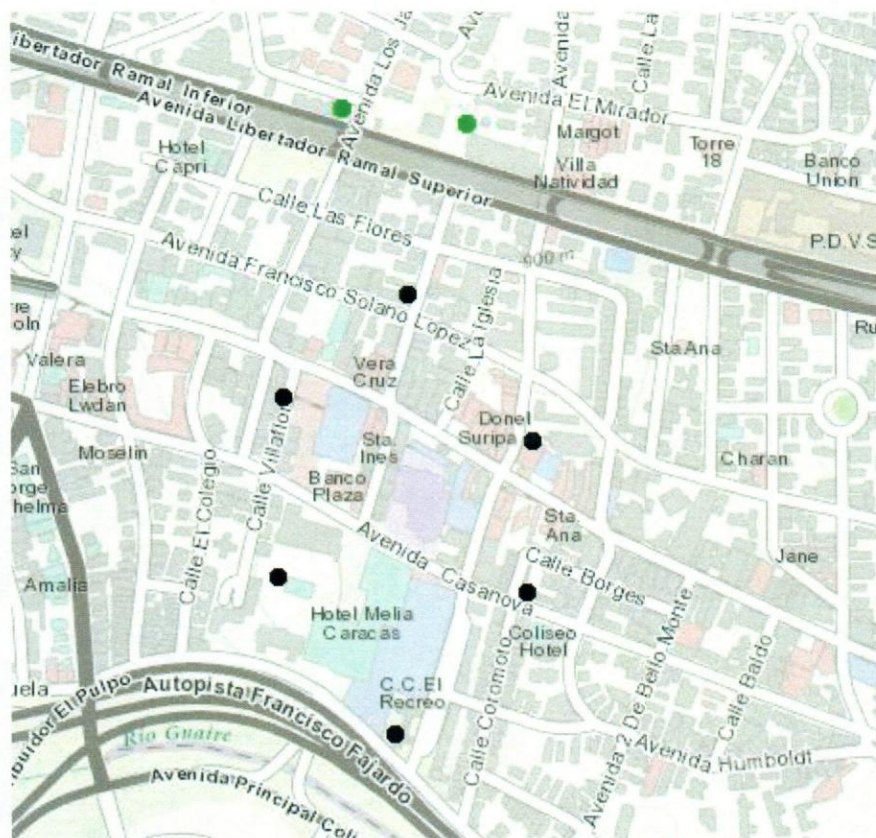


Figura 22. Localidad de Referencia: Sabana Grande
Fuente: Adaptado de Alcaldía Metropolitana de Caracas (2015)

El modelo de red propuesto se analiza desde la perspectiva de su desempeño para transmitir los tipos de datos necesarios para una aplicación de monitoreo vehicular basado en LPR, de ahí que los requerimientos definidos, rendimiento, demora, fluctuación y pérdida de paquetes, sean los utilizados como métricas para la simulación. El resto de la topología se modelará acorde a la topología presentada anteriormente en la figura 21.

5.4.2 Planteamiento de escenarios de prueba.

Como parte de las pruebas de concepto, se busca no solo validar el diseño de red propuesto, sino también verificar la viabilidad de diferentes opciones que pueden determinar el comportamiento de la red. Considerando que el principal flujo de

En la figura 22 se muestra un mapa de la localidad, con los AP señalados, donde los puntos negros representan los MAP y los verdes los RAP.

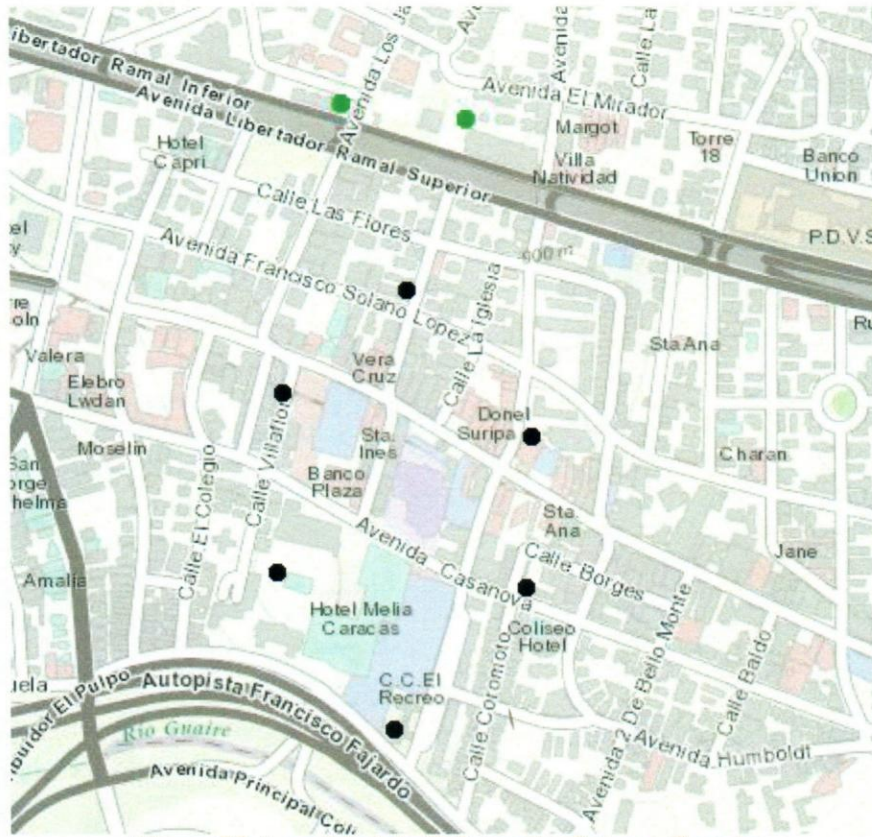


Figura 22. Localidad de Referencia: Sabana Grande
Fuente: Adaptado de Alcaldía Metropolitana de Caracas (2015)

El modelo de red propuesto se analiza desde la perspectiva de su desempeño para transmitir los tipos de datos necesarios para una aplicación de monitoreo vehicular basado en LPR, de ahí que los requerimientos definidos, rendimiento, demora, fluctuación y pérdida de paquetes, sean los utilizados como métricas para la simulación. El resto de la topología se modelará acorde a la topología presentada anteriormente en la figura 21.

5.4.2 Planteamiento de escenarios de prueba.

Como parte de las pruebas de concepto, se busca no solo validar el diseño de red propuesto, sino también verificar la viabilidad de diferentes opciones que pueden determinar el comportamiento de la red. Considerando que el principal flujo de

tráfico se encuentra conformado por lo transmitido en cada estación de monitoreo, los escenarios planteados varían sobre la base del ancho de banda requerido por estación para operar de una forma apegada a los valores ideales definidos por requerimiento.

A continuación, se describen un total de tres escenarios.

- **Escenario 1:** Procesamiento LPR *in situ*, en el cual el cliente local de cada estación MAP realiza todos los pasos del procesamiento LPR de forma local, incluyendo la consulta de vehículos solicitados en un registro local, por lo que la transmisión en la red se limitará al registro de los vehículos procesados del servidor de base de datos del CCC, y notificaciones de alertas. El envío de la imagen del contexto es opcional. Se constituye como el escenario que hace menor uso de ancho de banda.
- **Escenario 2:** Procesamiento LPR en servidor de CCC, por medio de imágenes, donde cada cliente local realiza la captura del contexto y envía las imágenes a servidores del CCC para realizar el procesamiento LPR y determinar si se levantan alertas. Requiere mayor ancho de banda que el Escenario 1, pero la instalación de cada cliente local es más simple.
- **Escenario 3:** Procesamiento LPR en servidor de CCC, por medio de video en tiempo real. Las características son similares al escenario 2, con la diferencia de presentar los mayores requerimientos de ancho de banda. Es un escenario considerable, dado que el uso de vídeo en lugar de imagen puede ser preferible para entornos de seguridad crítica.

La descripción del caso de prueba base a través del cual se implementarán los escenarios mencionados se resume en la tabla 34.

Tabla 34. Caso de Prueba.

INDICADOR	VALOR O DESCRIPCIÓN
Número de nodos <i>Mesh</i>	06 MAP y 02 RAP
Tiempo de Simulación	10 minutos
Dimensiones del entorno	1000mx1000m
Distancias entre nodos <i>Mesh</i>	100m a 500m
Aplicaciones	FTP, HTTP, transmisión de imágenes/video
Ancho de banda por nodo	Variable según escenario

Para comprobar los resultados de la prueba se utiliza una matriz de prueba, conformada por la lista de cotejo o *checklist* presentada en el anexo 2.

5.4.3 Ejecución de las simulaciones.

A continuación, se describen los pasos desarrollados para llevar a cabo la simulación con sus respectivos escenarios previstos en la herramienta *Riverbed Modeler*.

5.4.3.1 Creación de un nuevo proyecto y establecimiento de una nueva red.

Para crear la red, se debe en primer lugar iniciar un proyecto en la herramienta de simulación, como se muestra en la figura 23:

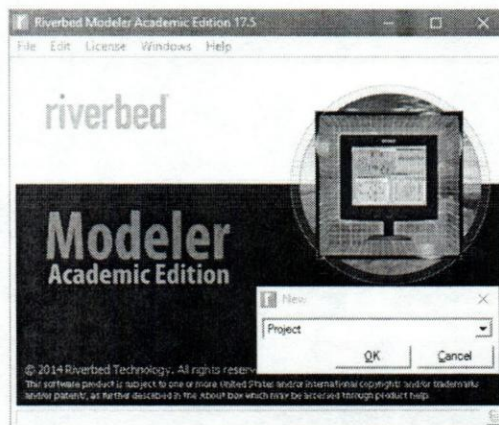


Figura 23. Creación de nuevo proyecto en Riverbed Modeler

Posteriormente, se procede a crear el escenario "Escenario_1". Se especifica la escala de la red (1000m x 1000m) y se escogen las tecnologías de red a utilizar en el proyecto. La vista resumen de esta configuración se muestra en la figura 24:

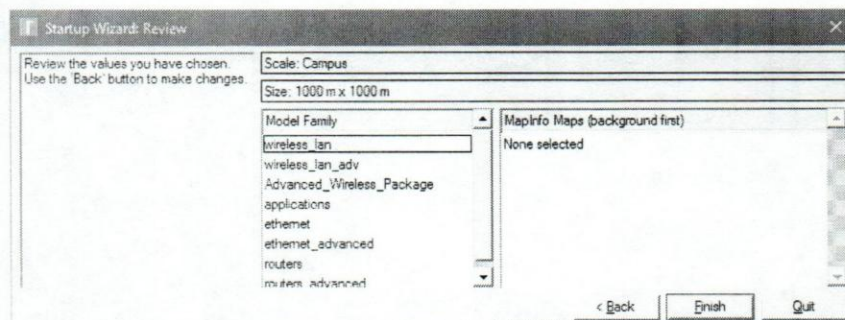


Figura 24. Vista resumen del proyecto creado

5.4.3.2 Creación y configuración de la red.

Seguidamente, se hace uso del *Object Palette*, mostrado en la figura 25, y se agregan los nodos necesarios para recrear la red:

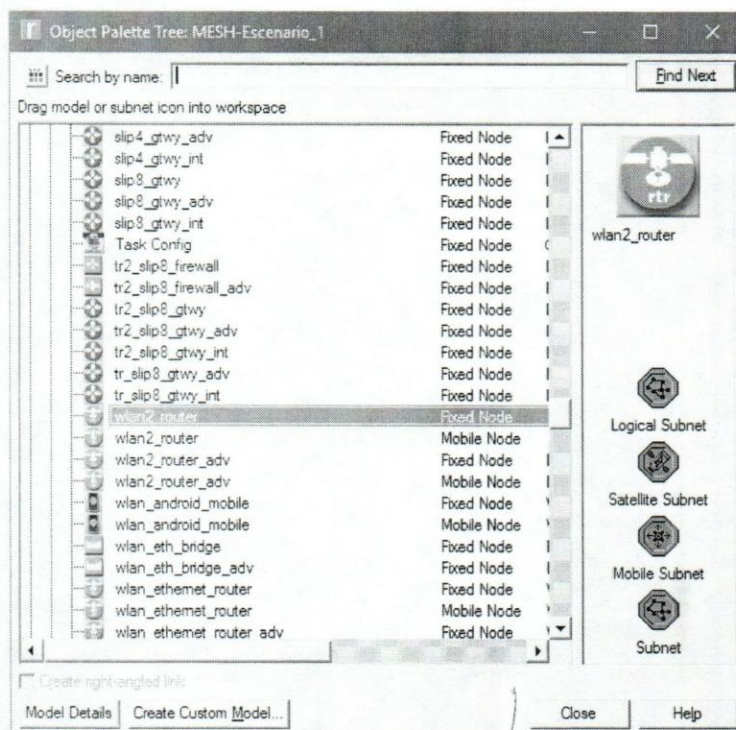
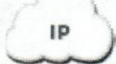


Figura 25. Elementos del Object Palette

Los elementos del *Object Palette* utilizados para construir la topología de red se muestran en la tabla 35.

Tabla 35. Elementos utilizados del *Object Palette*

ÍCONO	DESCRIPCIÓN
	Punto de Acceso <i>Mesh</i> RAP
	Nube IP: Representa la red que conecta al CCC (Ej. Internet)
	Nodos MAP con sus respectivo cliente de captura de imagen/video.
	Servidores (Base de datos, aplicación, etc.)

ÍCONO	DESCRIPCIÓN
	Firewall o Cortafuegos.
	Elemento de configuración de aplicaciones en la red.
	Elemento de configuración de perfiles de uso en la red.
	Enlaces cableados. El mostrado en el ícono corresponde a 10 Gbps Ethernet.

De forma que con los elementos listados se construyó la topología mostrada a continuación en la figura 26.

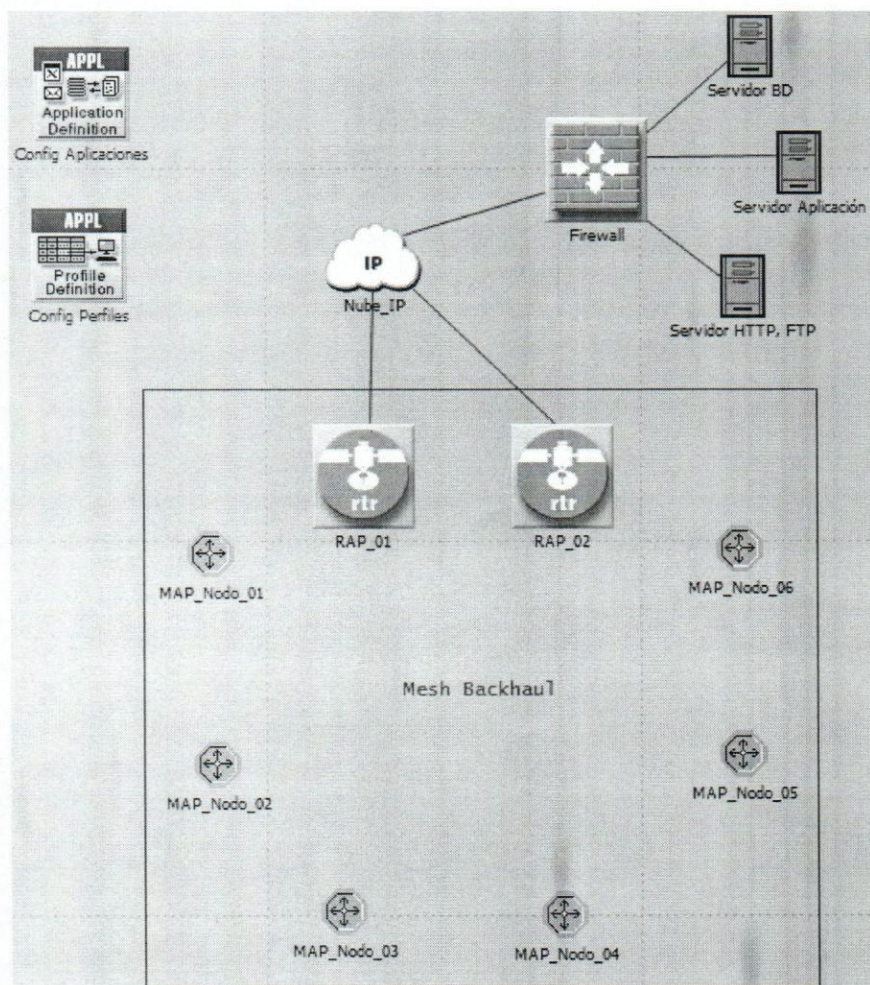


Figura 26. Topología de red Mesh - Herramienta de Simulación

Posteriormente, se modifican los atributos de los elementos para configurar la forma en que se desea que opere la red. En primer lugar, se realiza la configuración de las estaciones Mesh, editando atributos tales como el identificador de estación base, características físicas, tasa de datos y otras mostradas en la figura 27.

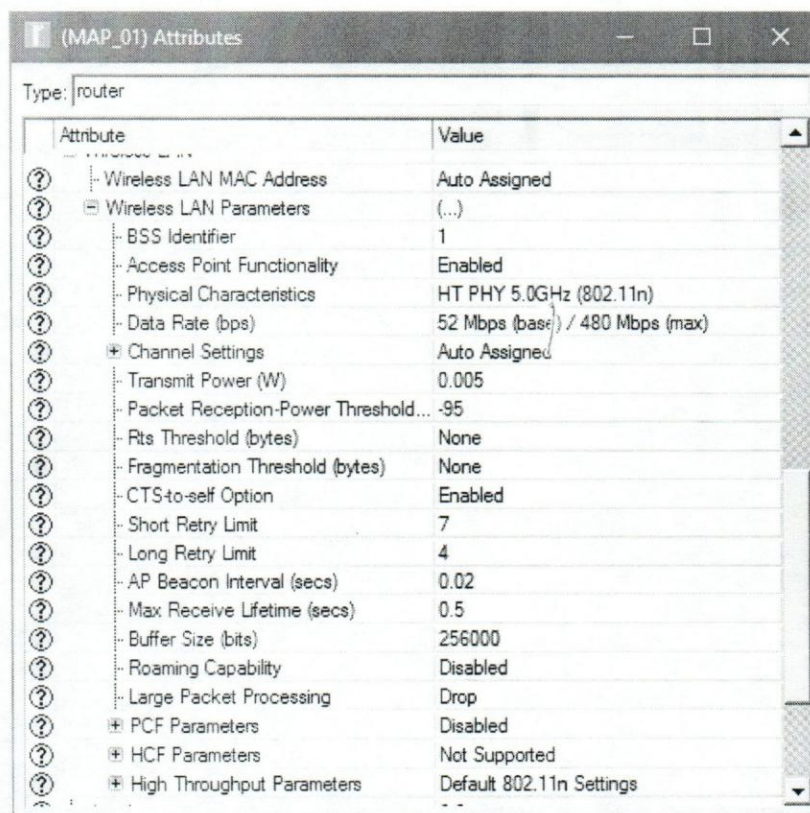


Figura 27. Atributos de estaciones Mesh

Además, se realiza la configuración del protocolo 802.11n para toda la red, con su respectiva tasa de datos como lo muestra la figura 28.

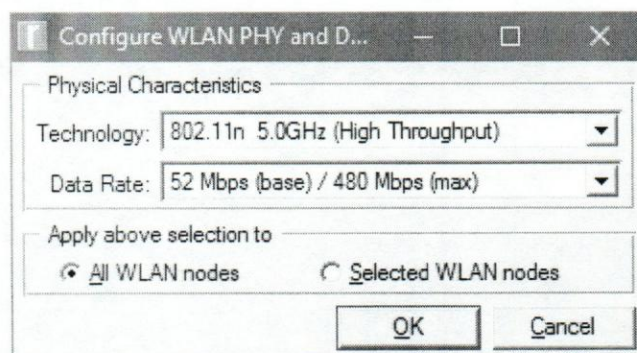


Figura 28. Configurando uso del protocolo 802.11n.

Seguidamente se configuran las aplicaciones soportadas en los servidores haciendo uso del elemento de configuración de servicios. De esta forma, el servidor de BD se configura para "*Database Access (Heavy)*", el servidor de aplicación para "*Image Transfer*" y el servidor de HTTP, FTTP para "*Web Browsing (Heavy HTTP 1.1)*" y "*File Transfer (Heavy)*".

Para el escenario actual, que corresponde al escenario 1, se configuró un perfil de uso llamado "Monitoreo", para el cual se establecen las aplicaciones "*Image Transfer (Light)*" y "*File Transfer (Light)*". Esto se muestra en la figura 29.

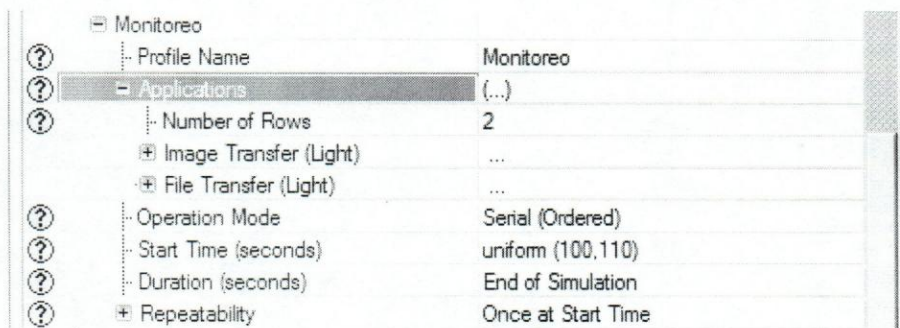


Figura 29. Perfil de uso "Monitoreo".

Dicho perfil se modificará acorde a los escenarios simulados.

5.4.3.3 Selección de estadísticas y configuración de la simulación.

Se seleccionan las siguientes estadísticas para recolectar durante la simulación:

- *Global Statistics* → *IP* → *Traffic Dropped (bits/sec)*.
- *Global Statistics* → *Wireless LAN* → *Delay (sec)*.
- *Global Statistics* → *Image Transfer/Video Streaming* → *Packet Delay Variation (packets/sec)*
- *Global Statistics* → *Wireless LAN* → *Throughput (packets)*.

5.4.3.4 Creación del escenario 2 y escenario 3.

Posteriormente, se crean dos escenarios duplicados del anterior, denominados "Escenario_2" y "Escenario_3". La diferencia entre estos dos escenarios radica en que en "Escenario_2" el perfil de uso se configura para "*Image Transfer (Heavy)*",

“File Transfer (Heavy)” y “Database Access (Heavy)” y en el “Escenario_3” las características del perfil de uso son “Video Streaming”, “File Transfer (Heavy)” y “Database Access (Heavy)”. De forma que se crean los tres escenarios como se muestra en la figura 30.

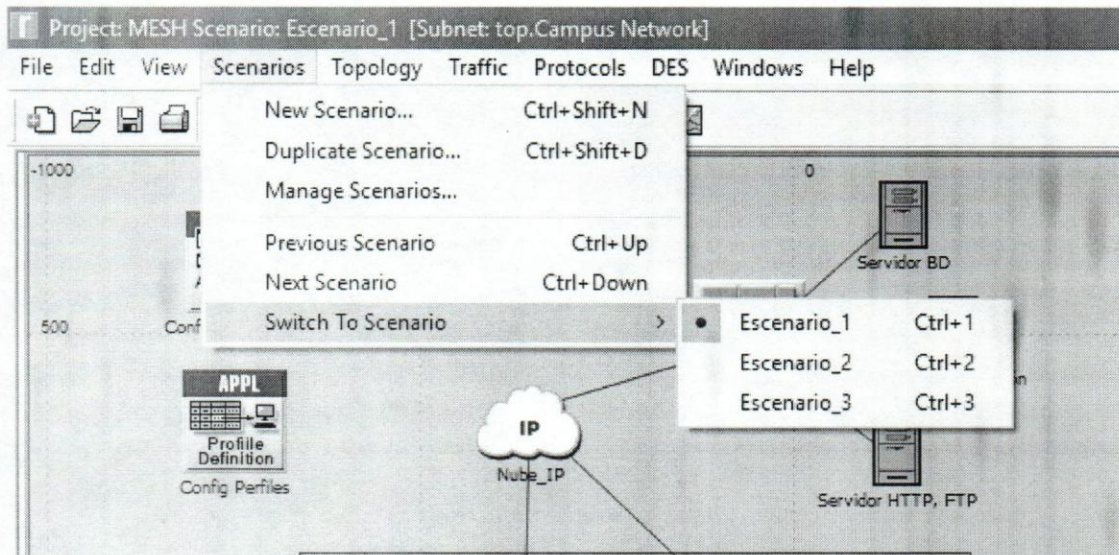


Figura 30. Tres escenarios de simulación creados.

5.4.3.5 Ejecución de la simulación y consulta de resultados.

Se ejecuta la simulación por medio de la opción “Configure/Run Discrete Event Simulation (DES)”, colocando un tiempo de ejecución de 10 minutos, como indica la figura 31. Esto permite obtener como resultados de la simulación, gráficas de cada uno de los tres escenarios con respecto a los parámetros “Throughput (bits/sec)”, “Delay (sec)” y “Traffic Dropped (bits/sec)”.

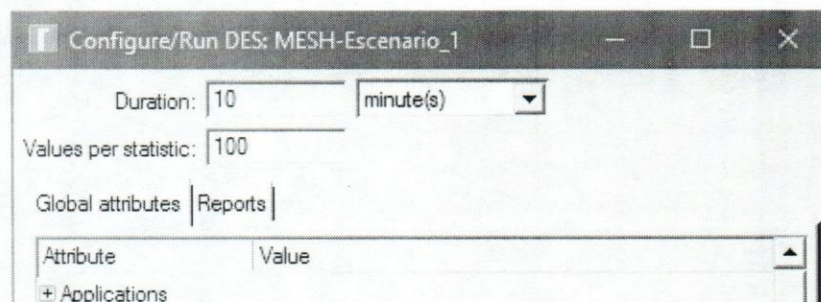


Figura 31. Ejecución de la simulación.

En lo que respecta al parámetro de "*Packet Delay Variation (packets/sec)*", no se pudieron obtener valores asociados por medio de la simulación ("*Statistic has only invalid or infinite values*"), por consiguiente, no se muestran gráficas pertinentes a dicho parámetro.

Los resultados de "*Throughput (bits/sec)*", "*Delay (sec)*" y "*Traffic Dropped (packets)*" del escenario 1 se muestran en las gráficas 3, 4 y 5 respectivamente.

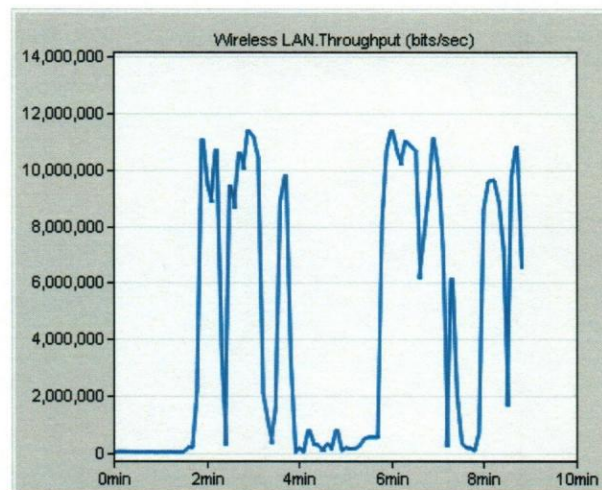


Gráfico 3. Rendimiento (Throughput) global - Escenario 1

En el rendimiento del escenario 1 se puede observar un valor pico oscilando entre 10.000.000 y 12.000.000 bps. Por otro lado, el rendimiento disminuyó notablemente entre el cuarto al sexto minuto.

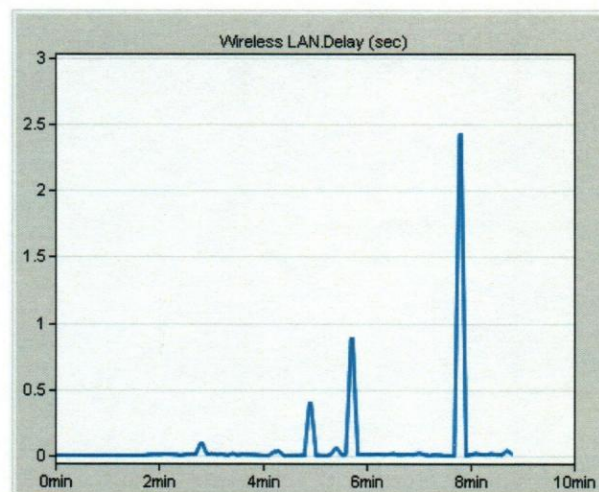


Gráfico 4. Delay (Demora) global - Escenario 1

En la demora del escenario 1 se puede observar un valor pico ubicado en 2,4 segundos. Por otro lado, la demora se mantuvo cercana a 0 segundos durante los primeros 4 minutos de la simulación y entre el sexto y séptimo minuto.

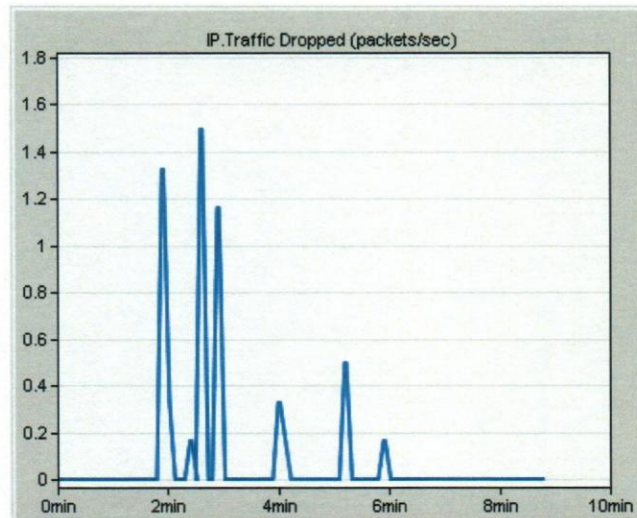


Gráfico 5. Paquetes Perdidos (IP Traffic Dropped) global - Escenario 1

En lo que respecta a paquetes perdidos del escenario 1 se puede observar un valor pico ubicado en 1,5 paquetes por segundo. Por otro lado, no se registraron pérdidas de paquetes a partir del sexto minuto.

Los resultados de “*Throughput (bits/sec)*”, “*Delay (sec)*” y “*Traffic Dropped (packets)*” del escenario 2 se muestran en las gráficas 6, 7 y 8 respectivamente.

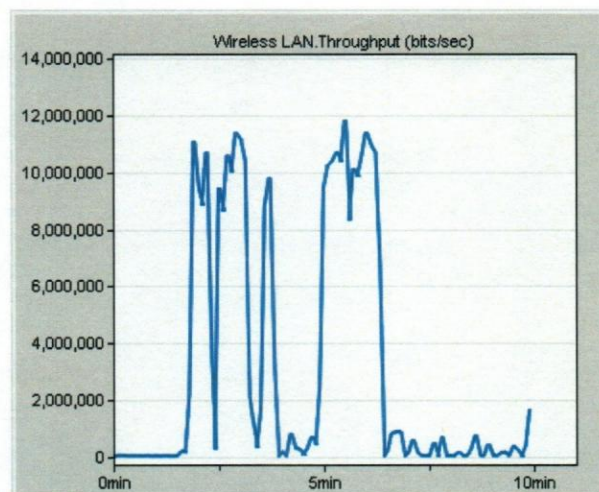


Gráfico 6. Rendimiento (Throughput) global - Escenario 2

En el rendimiento del escenario 2 se puede observar un valor pico oscilando cercano a 12.000.000 bps. Por otro lado, el rendimiento disminuyó notablemente a partir del sexto minuto, manteniéndose por debajo de los 2.000.000 bps.

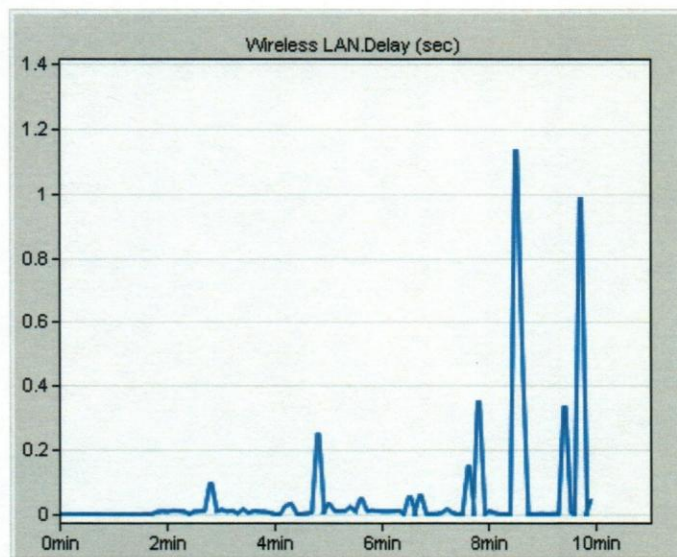


Gráfico 7. Delay (Demora) global - Escenario 2

En la demora del escenario 2 se puede observar un valor pico ubicado en 1,1 segundos. Por otro lado, la demora se mantuvo por debajo a los 0,2 segundos durante los primeros 3 minutos de la simulación y entre el quinto y séptimo minuto.

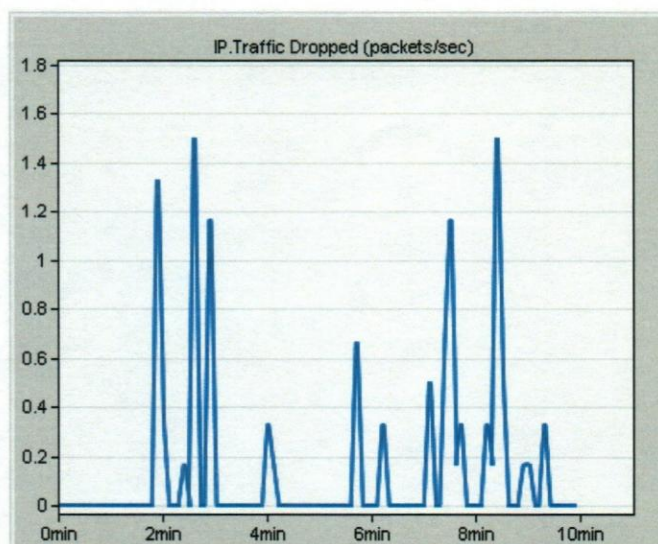


Gráfico 8. Paquetes Perdidos (IP Traffic Dropped) global - Escenario 2

En lo que respecta a paquetes perdidos del escenario 2 se puede observar un valor pico ubicado en 1,5 paquetes por segundo, similar al escenario 1. No obstante, se registraron pérdidas de paquetes en mayor cantidad de intervalos, destacándose la obtención de un segundo valor cercano al pico mencionado.

Finalmente, los resultados de "*Throughput (bits/sec)*", "*Delay (sec)*" y "*Traffic Dropped (packets)*" del escenario 3 se muestran en las gráficas 9, 10 y 11 respectivamente.

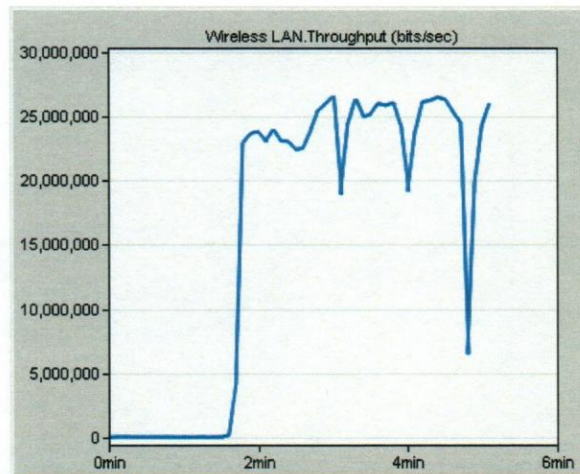


Gráfico 9. Rendimiento (Throughput) global - Escenario 3

En el rendimiento del escenario 3 se puede observar un valor pico oscilando mayor a 25.000.000 bps. Por otro lado, el rendimiento disminuyó notablemente en el quinto minuto.

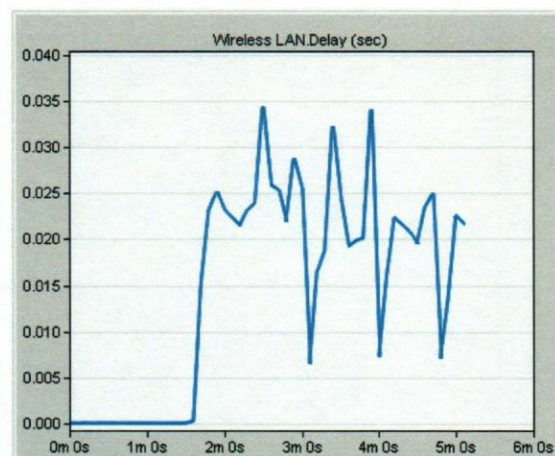


Gráfico 10. Delay (Demora) global - Escenario 3

En la demora del escenario 3 se puede observar un valor pico ubicado en 0,034 segundos. En general, se obtuvieron valores bajos de demora, manteniéndose por debajo de 0,040 segundos.

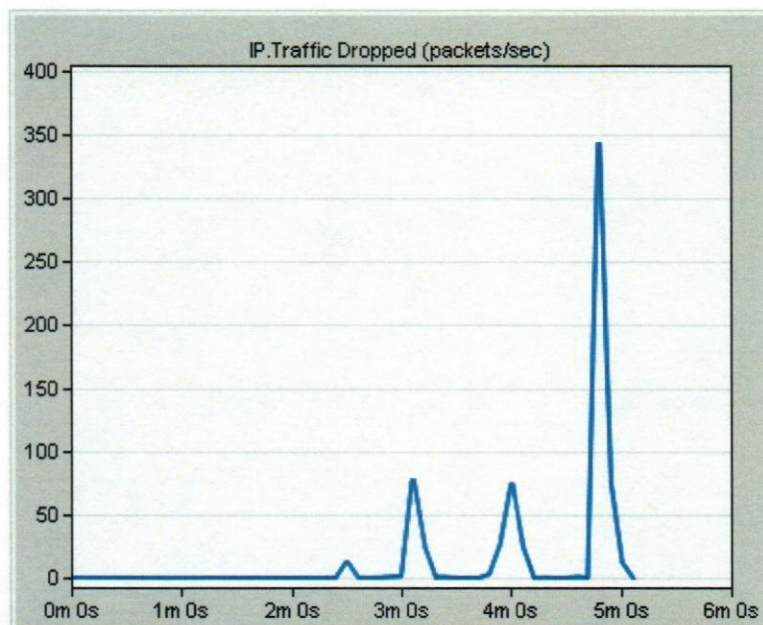


Gráfico 11. Paquetes Perdidos (IP Traffic Dropped) global - Escenario 3

En lo que respecta a paquetes perdidos del escenario 3 se puede observar un valor pico ubicado en 340 paquetes por segundo. Por otro lado, las pérdidas de paquetes en los primeros tres minutos fueron cercanas a 0 paquetes por segundo, y en el intervalo entre el tercer y quinto minuto, por debajo de los 100 paquetes/s.

5.4.4 Comparación de los resultados obtenidos en cada caso de prueba.

Después de finalizadas las simulaciones, se procede a comparar los resultados entre cada uno de los escenarios y los valores base definidos como parte de los requerimientos de la red. Para ello, se toman los valores pico de cada escenario en los parámetros respectivos. De esta manera, en la tabla 36 que sigue a continuación se tiene la comparación para el parámetro de rendimiento o *throughput*.

Tabla 36. Comparación del parámetro Rendimiento

RENDIMIENTO (THROUGHPUT)	REQUERIMIENTO BASE	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Valor (bps)	N/A	11x10 ⁶ bps	12x10 ⁶ bps	26x10 ⁶ bps
Margen	75 – 100 %	21%	23%	50%

Sobre los resultados expuestos en la tabla 36 se puede afirmar que no existe un escenario donde el requerimiento se encuentre en su estado ideal. No obstante, el escenario 3 obtuvo un resultado mucho más favorable que los dos primeros escenarios, por lo que se considera el mejor escenario desde el punto de vista del requerimiento o *throughput*.

Seguidamente, en la tabla 37 se presenta la comparación para el parámetro de demora o *delay*.

Tabla 37. Comparación del parámetro Demora

DEMORA (DELAY)	REQUERIMIENTO BASE	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Margen (ms)	150 – 400 ms	0-2400 ms	0-1200 ms	0-35 ms

Sobre los resultados expuestos en la tabla 37 se puede afirmar que el escenario 3 presenta los valores ideales de demora, mientras que el escenario 1 presenta el peor valor de demora, con el escenario 2 presentando un mejor rango de demora, pero todavía por fuera de los valores ideales.

Por último, en la tabla 38 se presenta la comparación para el parámetro de pérdida de paquetes o *traffic dropped (packets/s)*.

Tabla 38. Comparación del parámetro Demora

PÉRDIDA DE PAQUETES	REQUERIMIENTO BASE	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Valor (paquetes/s)	N/A	1.5 paquetes/s	1.5 paquetes/s	340 paquetes/s
Margen	0 % – 3%	0.01 %	0.01 %	3%

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 38, se tiene que los escenarios 1 y 2 un comportamiento similar y un rendimiento mejor que el del escenario 3. No obstante, el escenario 3 se sigue manteniendo bajo el margen de preferencia establecido para el requerimiento.

Por consiguiente, se tiene que el escenario 3 resultó el de mejores resultados para cada uno de los requerimientos establecidos. A pesar de que el valor de rendimiento o *throughput* no fue el ideal, se ubica en una proporción más favorable que la de los escenarios 1 y 2. En lo que respecta a demora y pérdida de paquetes, el escenario 3 presenta valores ideales.

CAPITULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados.

Como solución que busca ofrecer una alternativa tecnológica para el monitoreo en casos de robo y/o hurto de vehículos en el municipio Libertador de la ciudad de Caracas, se propuso el diseño de una red del tipo *Mesh*, siguiendo de cerca los elementos que caracterizan a la *Smart City* y a modelos generales de atención de incidentes.

No obstante, durante el desarrollo del estudio se determinaron diferentes opciones para brindar un propósito similar al mismo tiempo que se realiza una integración con los despliegues de índole similar existentes en el área. Por consiguiente, como resultados destacados de la presente investigación, se destaca la opción considerada con mayor factibilidad dado el estudio de las condiciones del posible entorno de aplicación. Por otro lado, es válido plantear que condiciones deben presentarse y que consideraciones deben hacerse en la etapa de diseño para que las otras opciones planteadas puedan desarrollarse.

A continuación, se describen los aspectos mencionados sobre las opciones resultantes del presente estudio:

- La opción escogida para diseñar y probar mediante pruebas de concepto se basó en aprovechar la composición de una red existente, en la que, aquellos componentes destinados al monitoreo vehicular fueran interconectados mediante una red nueva basada en la topología *Mesh*, mientras que el resto de la infraestructura existente se reutilizaba para aprovechar el resto de las prestaciones de la red, tales como los componentes de aplicación del centro de comando, control y comunicaciones, radiocomunicación con cuerpos de seguridad, entre otros. En su estudio de pre-factibilidad se demostró que era la opción que mejor garantizaba el soporte de nuevas características, al mismo tiempo que el impacto del nuevo despliegue sobre los posibles usuarios era reducido y la cantidad de equipos de *hardware* y *software*

necesarios se encontró en un punto intermedio respecto a otras opciones, representando un balance adecuado.

Para llevar a cabo la opción 3, se describieron pasos que van desde el estudio de las condiciones del terreno del entorno, hasta la realización del inventario de equipos existente, determinando cuales necesitan ser actualizados o remplazados, siguiendo con el desarrollo del diseño de la red, el despliegue de los elementos destinados en el diseño, así como de la interconexión con la red existente, y evaluar su comportamiento en el entorno real.

Se debe resaltar, dado que se describe la opción cuyo diseño fue sometido a pruebas de concepto por medio de simulaciones, que se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a rendimiento (*throughput*), demora (*delay*) y pérdida de paquetes para una implementación donde cada nodo se encuentre capturando el contexto por medio de cámaras de video. Las imágenes que componen el video serán posteriormente analizadas por servidores especializados donde se realice el proceso de reconocimiento de caracteres de LPR, para su posterior comparación en la base de datos de vehículos solicitados. No obstante, los resultados de las pruebas indican que se deben tomar medidas para optimizar el rendimiento de esta modalidad, por medio de compresión de video, ajustes de los enlaces entre las diferentes estaciones *Mesh*, etc.

- Una de las opciones estudiadas fue la denominada como "No hacer nada", la cual es realmente definida como el patrón de comparación. El desarrollo de dicha opción implica realizar un estudio profundo de todo el equipamiento de *hardware* y *software* existente en la red presente, y realizar cambios y actualizaciones solo en aquellos componentes cuya vida útil ha finalizado, manteniendo el resto de los elementos operativos sin cambios. El reto de esta opción consiste en determinar una manera de reutilizar toda esta

capacidad existente para implementar las funciones de monitoreo de vehículos, al mismo tiempo de garantizar un soporte adecuado a los nuevos tipos de tráfico que dicha prestación maneja.

Si se determina que ciertos elementos deben ser orientados o modificados para atender el monitoreo vehicular de forma especial, esto conllevaría a la aplicación de la denominada "opción 1" del presente estudio. A pesar de esta limitante, la opción de referencia no resultó ser la menos asequible según el estudio de pre-factibilidad.

- La denominada opción 1 se planteó bajo la premisa de mantener la mayor parte de la infraestructura, al mismo tiempo que se disponía de un grado de libertad limitado para realizar cambios específicos que mejor pudieran optimizar la red existente para soportar las funciones de monitoreo vehicular. Esta opción conserva la mayor parte de los beneficios de la opción de referencia, incluyendo corto tiempo de despliegue, dimensionamiento reducido desde el punto de vista de los requerimientos de *hardware*, *software* y *equipos de red*, y agrega la posibilidad de hacer cambios que influyen de forma positiva en el ciclo de vida de las tecnologías utilizadas y el rendimiento de la plataforma como un todo al introducir el nuevo tipo de tráfico.

La opción 1 comparte un plan de desarrollo similar a la opción de referencia, donde la mayor diferencia se presenta en la posibilidad de agregar equipamiento especializado para realizar las labores típicas de un sistema LPR para el monitoreo de vehículos. Desde el punto de vista del factor humano y los insumos requeridos para desarrollar la red desde esta perspectiva, la opción 1 presenta la mejor pre-factibilidad entre las opciones estudiadas, no obstante, desde el punto de vista técnico se debe considerar que, al conservar ciertos esquemas de disponibilidad, topología, calidad de servicio y gestión de la red, entre otros, no se puede garantizar una operación óptima de toda la plataforma, dado que se requerirían realizar cambios más

profundos, evolucionando en lo que se planteó dentro del estudio como la opción 2.

- La opción 2 se desarrolla bajo la premisa que no existe un despliegue similar en el área de aplicación, lo que quiere decir que es posible un diseño e implementación de la red con los elementos de interconectividad, *hardware* y *software*, orientados específicamente a cumplir la función de monitoreo vehicular, proporcionando además la base para el desarrollo de despliegues similares basados en las tecnologías que integran a la *Smart City*. Bajo esta premisa, se considera que la escalabilidad de esta opción es difícilmente mejorable, y desde el punto de vista técnico presenta a nivel general una evaluación de pre-factibilidad con resultados favorables.

No obstante, las mismas virtudes que presenta esta opción pueden ser consideradas debilidades desde la perspectiva de las grandes dimensiones que presentaría el despliegue, incrementando la complejidad de la gestión de la red y de la tolerancia a fallos de los componentes que la integran, dado que no se encuentran apoyados o interconectados a otra plataforma. Además, desde la perspectiva del riesgo, la opción 2 es la que levanta la mayor cantidad de alarmas en lo que respecta a la cantidad de equipos y aplicaciones requeridas, pago de licencias y gestión de actualizaciones, así como el manejo del personal tanto en el despliegue como en el soporte de la red.

Partiendo de dicha base para el desarrollo de la opción 2, para la implementación de dicha alternativa se prevé una mayor complejidad en comparación a las demás opciones, partiendo en diferentes fases e incluyendo desde un estudio profundo de las características del entorno, como la instalación de los diversos equipos que componen la red por partes, asegurando la operatividad de la solución orientada al monitoreo vehicular

como la prioridad, realizando el seguimiento respectivo para asegurar la construcción de la base adecuada para soportar futuras prestaciones.

6.2 Carta de proyecto.

A continuación, se describen todos aquellos elementos que permiten definir un proyecto basado de la opción seleccionada por medio del análisis de pre-factibilidad y diseñada en la presente investigación.

6.2.1 Visión general del proyecto.

El proyecto consiste en una solución basada en una red inalámbrica de topología *Mesh* para el monitoreo en incidentes de robo y hurto vehicular. La duración estimada del proyecto se estima en 6 meses, con un presupuesto alrededor de 700.000 USD.

6.2.2 Justificación.

Es un hecho que el municipio Libertador de la ciudad de Caracas necesita una propuesta, específicamente de índole tecnológica, para contar con una alternativa para eventualmente disminuir los casos de robo y hurto de vehículos. Dicha propuesta presenta como característica importante la integración en una red urbana de comunicaciones de los diferentes elementos tecnológicos de seguridad que permitan además propiciar el desarrollo del municipio, y la ciudad como un todo, en ciudad inteligente o *Smart City*.

El monitoreo vehicular está basado en la lectura automática de matrículas de vehículos en movimiento, utilizando avanzados dispositivos de captura de imágenes de alta resolución, como cámaras especializadas con altas velocidades de reconocimiento, visión nocturna y alta compresión de imágenes.

Las imágenes son procesadas en tiempo real con algoritmos de reconocimiento óptico de caracteres y transmitidas al Centro de Comando y Control. De forma automática que se compara el número de la matrícula capturada desde los

dispositivos remotos contra una base de datos y se genera una alerta en caso que el vehículo presente algún factor restrictivo.

6.2.3 Alcance.

Entre los objetivos que la plataforma de monitoreo de incidentes de robo y hurto de vehículos debe cumplir se encuentran los siguientes:

- Mejorar la atención por parte de las autoridades de incidentes relacionados con robo y hurto de vehículos.
- Disminuir la cantidad de robo y hurto de vehículos registrados en la entidad, mediante una adecuada preparación y atención temprana.
- Proporcionar una base tecnológica para el desarrollo como ciudad inteligente para otras soluciones similares.

Estos objetivos se lograrán por medio de la entrega de todas las tecnologías necesarias para desplegar la plataforma de monitoreo, incluyendo la red que soporta todas las prestaciones de la misma, los dispositivos, *hardware* y *software* necesarios para operar las distintas funcionalidades, la actualización y reemplazo de todos aquellos elementos que forman parte de la estructura tecnológica vigente que se encuentren con ciclo de vida vigente, y por último, los medios necesarios para interconectar la red descrita con dicha estructura para su puesta en marcha.

6.2.4 Duración.

Una estimación de la duración del proyecto se presenta en la tabla 39.

Tabla 39. Duración del proyecto.

TAREA PRINCIPAL	ACTIVIDADES	1 ^{ER} MES.	2 ^{DO} MES.	3 ^{ER} MES.	4 ^{TO} MES.	5 ^{TO} MES.	6 ^{TO} MES.
Concepto	Definición de elementos de la plataforma.	■					
	Análisis de nuevas tecnologías		■				
Diseño y Desarrollo	1) Despliegue de la red.			■			
	2) Interconexión y puesta en marcha.					■	

6.2.5 Presupuesto estimado.

Una estimación de la duración del proyecto se presenta en la tabla 40.

Tabla 40. Presupuesto estimado.

#	CATEGORÍA	COSTOS ESTIMADOS	DESCRIPCIÓN
1	Servicios	200.000 USD	Incluye: Todos los servicios relacionados a la implementación
2	Productos	500.000 USD	Incluye: Todo el <i>Software</i> y <i>Hardware</i> necesario para la operación de la solución, además de todos los servidores y equipos de comunicación
	TOTAL	700.000 USD	

6.2.6 Análisis de alternativas.

Las alternativas a la solución planteada son aquellas presentadas en la presente investigación como parte de la evaluación de la pre-factibilidad. A modo de resumen, además de la opción 3 seleccionada, se definieron las alternativas siguientes:

- **Referencia:** Mantener la plataforma tecnológica y de telecomunicaciones actual en su totalidad ("no hacer nada").
- **Opción 1:** Mantener la mayor parte de la infraestructura, implementar solo los dispositivos y clientes que incorporen de forma dedicada a la plataforma el monitoreo vehicular dentro de la red actual.
- **Opción 2:** Asumir que no existe un despliegue tecnológico en el entorno, diseñar toda la plataforma por completo.

6.2.7 Premisas, limitaciones y riesgos.

Se asumen los siguientes casos:

- Se asume que existe un despliegue tecnológico operativo en la entidad con ciertos componentes (tales como el CCC, enlaces con los cuerpos de seguridad, etc.) requeridos para su utilización por la plataforma propuesta.

- Los espacios donde se ubicarán los equipos a instalar como parte de la solución cumplen solamente con las condiciones de la simulación, pero puede darse su modificación basado en condiciones reales.

Se precisan ciertas limitaciones tales como:

- Dependiendo de la cantidad de puntos de monitoreo a instalar, el tiempo que puede tomar el despliegue e instalación de los mismos pudiera causar un incumplimiento con la duración estimada del proyecto.
- El estado de la plataforma existente pudiera presentar detalles que aumenten la dificultad en el establecimiento de la interconexión entre esta y la red nueva.

Algunos riesgos a considerar son:

- Poca disponibilidad de socios tecnológicos para el despliegue de la plataforma.
- Incumplimiento por parte de las fuentes de financiamiento del proyecto.
- Eventos fortuitos que pudieran afectar parte del despliegue de la plataforma, por ejemplo, averías en equipos, configuraciones indebidas, etc.

6.2.8 Organización del proyecto.

Una estimación de los tipos de personal requerido para el proyecto se presenta en la tabla 41.

Tabla 41. Organización del proyecto.

GRUPOS	ACTIVIDADES
Soporte de la Plataforma	Ingeniero de diseño/desarrollo
Soporte a Operaciones	1) Ingeniero de base de datos
	2) Ingeniero de seguridad
	3) Ingeniero de telecomunicaciones
	4) Ingeniero de infraestructura

CAPITULO VII: LECCIONES APRENDIDAS

7.1 Conocimientos derivados de la investigación.

El desarrollo del presente estudio permitió obtener un mayor conocimiento sobre diferentes perspectivas que se centran en el diseño de soluciones de red en el contexto de la *Smart City* y más específicamente orientadas a la atención de incidentes generados, en este caso, por el robo y/o hurto de vehículos. Se destacan los siguientes puntos por cada objetivo desarrollado:

- Durante la definición de requerimientos, se destaca la división de los mismos en dos categorías, cualitativos y cuantitativos. Dicha división permitió realizar un estudio de los mismos bajo diferentes perspectivas, además de que, por medio de la bibliografía consultada, incluyendo autores institucionales como la UIT-T, ETSI y *Telkom Polytechnic*, fue posible encontrar valores ideales para los requerimientos cuantitativos asociados a la red diseñada.
- Seguidamente, se llevó a cabo el análisis situacional que permitió conocer sobre plataformas de red similares implementadas en el entorno donde se ubica el estudio, y permitió aprender sobre ciertos elementos o características en común que se deben soportar en la red diseñada y el modelo tecnológico bajo el cual se basa, incluyendo sus entradas, el centro de procesamiento y la conexión con diversos elementos operativos de seguridad en la ciudad.
- El tercer objetivo de la investigación permitió desarrollar la base bajo la cual se construyó el diseño de la red Mesh, consistiendo en la especificación de todos sus elementos. Se determinó un método basado en las capas de la red (física, enlace de datos, red, capas superiores) para realizar la descripción de dichos elementos y además se llevó a cabo una metodología que permitió comparar, tanto desde la perspectiva técnica como del factor humano y

factores de riesgo, diversas opciones para determinar lo que sería el diseño de red definitivo.

- Por medio de las simulaciones, como parte de las pruebas de concepto, el último objetivo de la presente investigación permitió plantear un caso de prueba implementado en diversos escenarios, siguiendo para ello una matriz de prueba y determinando a través de la herramienta *Riverbed Modeler* su nivel de cumplimiento con respecto a los requerimientos previamente definidos.

La elaboración de la presente investigación permitió desarrollar un conjunto de bases metodológicas que pudieran presentar una universalidad de aplicación en contextos donde se requiera desarrollar diseños o propuestas de redes para brindar soporte de comunicaciones a plataformas tecnológicas de diversa índole. Esta es una característica que se encuentra presente en el concepto como un todo de las soluciones que conforman a la *Smart City* o ciudad inteligente, ya que es incluso posible utilizar el diseño de red propuesta para su aplicación en prestaciones tales como control del tráfico, video-vigilancia, telemetría, entre otras.

7.2 Ejecución del cronograma y balance de recursos.

El cronograma de la investigación consiste en la planificación del tiempo para los distintos entregables que conformaron el presente estudio.

El cronograma de del presente estudio se encontró dividido en dos partes, la primera correspondiente a los cuatro primeros capítulos que conforman el proyecto de investigación, y la segunda a los capítulos que correspondientes al desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

En la figura 32 que se presenta a continuación se muestra el cronograma definido desde la etapa de proyecto de la presente investigación.

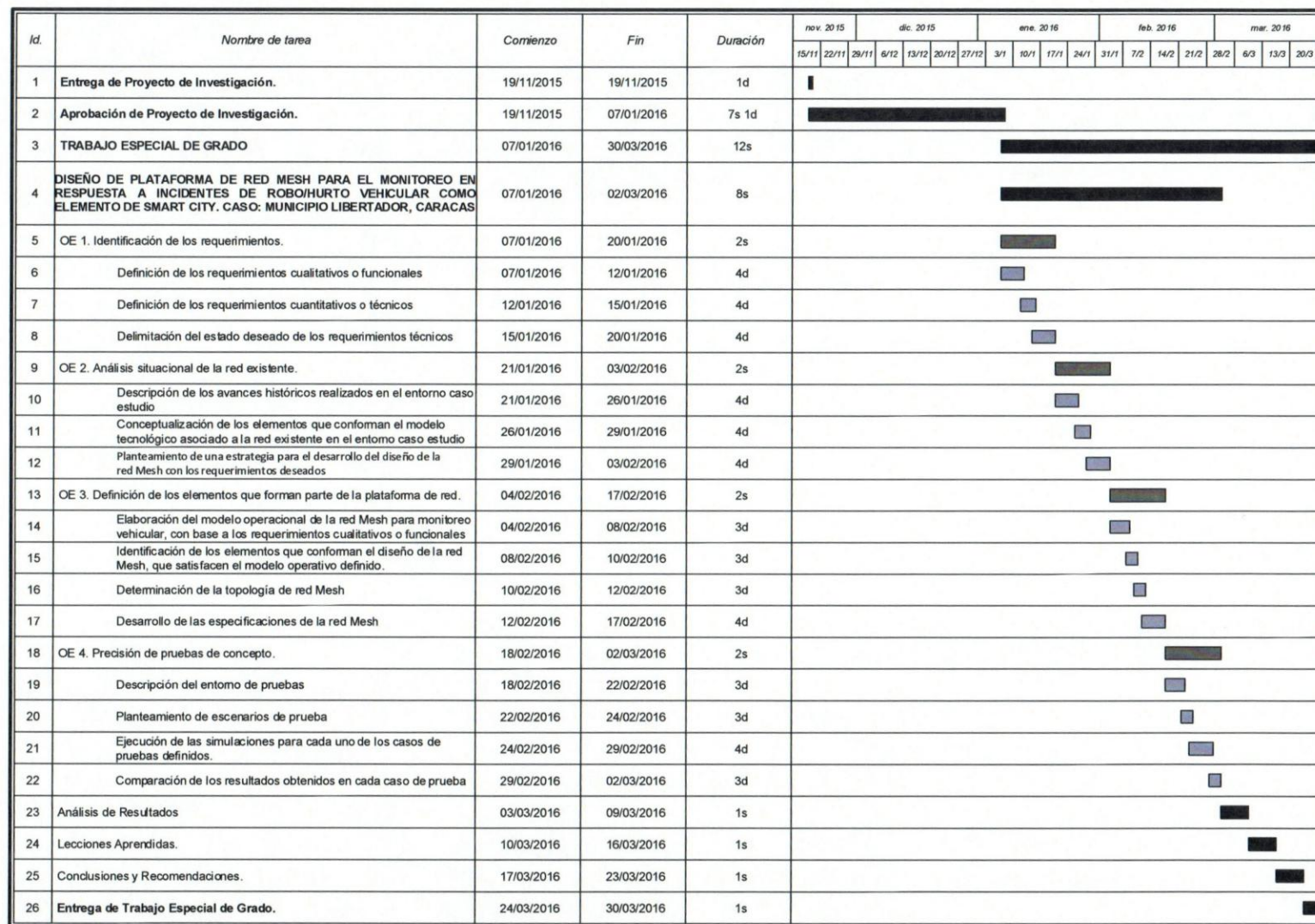


Figura 32. Cronograma de la investigación.

De las premisas definidas para la elaboración del cronograma presentado, la duración combinada de los capítulos relacionados al desarrollo de los objetivos se contempló en exactamente 12 semanas. La variación de la duración del proyecto con respecto a lo estimado fue de 1 semana, desarrollándose los apartados mencionados en 11 semanas.

Adicionalmente, la investigación requirió un conjunto de recursos para el desarrollo de la propuesta correspondiente, tales como recursos materiales, humanos y financieros. En la tabla 42 que se presenta a continuación se listan los distintos recursos que fueron necesarios para el desarrollo de la investigación:

Tabla 42. Recursos de la investigación

TIPO DE RECURSO	NOMBRE DEL RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (BsF.)	COSTO TOTAL (BsF.)
Institucionales y administrativos	Inscripción: Seminario de Trabajo Especial de Grado	Unidad de crédito	3	1.273,00	3.819,00
	Inscripción: Trabajo Especial de Grado	Unidad de crédito	4,6	1.273,00	5.855,80
Materiales	Guía para la elaboración de Trabajo de Grado	Unidad	1	2.500,00	2.500,00
	Resmas de Papel: 100 hojas tamaño carta	Unidad	4	2.000,00	8.000,00
	Cartuchos de tinta para la impresión	Unidad	4	1.500,00	6.000,00
	Encuadernado	Unidad	1	200,00	200,00
	Medios de almacenamiento (CD, pendrive)	Unidad	4 CD 2 Pendrive	100,00 (CD) 3.000,00 (Pendrive)	6.400,00
Humanos	Asesor	Horas/Hombre	480	321,80	154.464,00
	Asesorado	Horas/Hombre	480	158,50	76.080,00
TOTAL					263.318,80

De acuerdo a los recursos listados en la tabla 42, el proyecto de investigación presentó un costo total de BsF. 263.318,80 el cual se mantuvo igual para el período de 11 semanas.

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se presentan los resultados más destacables de los diferentes objetivos que componen la presente investigación, resumiendo además los métodos utilizados para determinar dichos aportes. Dichos resultados parciales permitieron la consecución del objetivo general de la investigación, que consistió en el desarrollo del diseño de una plataforma de red Mesh para el monitoreo en respuesta a incidentes de robo o hurto vehicular como elemento de ciudad inteligente en el municipio Libertadores de la ciudad de Caracas.

Por otro lado, se ofrecen las bases para llevar a cabo proyectos e investigaciones basadas en las teorías y métodos empleados en la presente investigación y basados en los resultados obtenidos.

A continuación, se presentan las conclusiones del presente estudio siguiendo el orden en que los objetivos fueron desarrollados.

8.1 Conclusiones.

- En el primer objetivo de la investigación se sentaron las bases para el diseño de la red *Mesh* por medio de una definición concreta de requerimientos. Se utilizaron dos clases de objetivos, cuantitativos y cualitativos, basados en los definidos por los autores Serpanos y Wolf (2011).

Los requerimientos cualitativos definidos fueron: Enrutamiento y direccionamiento, disponibilidad, seguridad y restricción de acceso, gestión de red, tolerancia a fallas, soporte de tráfico, terminales y nodos y topología. Los objetivos cuantitativos incluyeron rendimiento, demora, fluctuación y pérdida de paquetes. Basados en recomendaciones y estándares de la UIT-T y ETSI, así como en estudios de la *Telkom Polytechnic*, se plantearon valores ideales para la red *Mesh* diseñada, de la siguiente manera: rendimiento (excelente entre 75 a 100%), demora (media entre 150 a 400

ms), fluctuación (de media a pobre entre 150 a 400 ms) y pérdida de paquetes (excelente por debajo de 3%).

- En el segundo objetivo se llevó a cabo un denominado análisis situacional donde se estudiaron las características de redes existentes en el municipio Libertador de la ciudad de Caracas. Se encontraron dos proyectos desarrollados en el área, SUASS con referencias que datan del año 2007 y SIMA, cuya primera fuente encontrada se remonta al año 2013.

Se esquematizó un modelo tecnológico sobre la base de las características de los modelos consultados y se extrajo del mismo los elementos que se tomaron en cuenta para diseñar la red *Mesh*, dadas las similitudes existentes en el campo de aplicación de dichas plataformas tecnológicas. Entre estos elementos se tiene el alcance del diseño dentro del modelo tecnológico, incluyendo entradas (Cámaras de red), centro de procesamiento (CCC) y el uso de enlaces inalámbricos, así como también las ideas de Interconexión y plataforma de levantamiento de alertas e incidentes.

- El siguiente objetivo se centró en la definición de los elementos que conforman el diseño de la red propuesta, así como en la presentación de distintas opciones para implementar las tecnologías de red orientadas a soportar la plataforma para el monitoreo vehicular.

Sobre la base de un modelo operacional, compuesto de cuatro planos (captura del contexto y almacenamiento de datos, interpretación de datos y preparación, respuesta, recuperación y lecciones aprendidas), se plantearon diversos elementos de diseño siguiendo el orden de las capas de abstracción de la red. En la capa física se consideraron elementos de topología, límites físicos y flujo de tráfico, seguidamente en la capa de enlace de datos se definieron aspectos asociados al control de acceso al medio (MAC) según lo

definido en los estándares 802.11x, luego en la capa de red se describieron los modelos de enrutamiento de la red *Mesh* donde cada nodo es un *router* y un repetidor, así como la aplicación del principio de enrutamiento proactivo y reactivo. Por último, se agruparon las capas superiores para colocar las aplicaciones y protocolos que dan soporte al monitoreo vehicular en tales niveles.

Para determinar la topología de la red diseñada, se presentaron además tres escenarios diferentes. Un escenario patrón ("no hacer nada") y otros tres escenarios cuya variación radica en el grado de reutilización de la infraestructura de la red existente en el entorno, desde realizar solo la incorporación del hardware/software necesario (opción 1), hasta la opción de diseñar por completo la plataforma (opción 2), incluyendo además una opción intermedia con reutilización de una porción de la red y despliegue por completo de la porción donde se desarrolla la captura del contexto (opción 3). Cada opción fue evaluada desde el punto de vista de su pre-factibilidad tanto desde la perspectiva técnica como de riesgo (dimensiones del proyecto, factor humano, etc.). La opción escogida fue la opción 3, para la cual se presentó un diseño completo de la topología de red asociada, basada en los elementos definidos y recomendaciones de Cisco Systems, Inc. (2015).

- En el cuarto y último objetivo del presente estudio se llevaron a cabo las pruebas de concepto del diseño de red, bajo la modalidad de simulaciones DES por medio de la herramienta *Riverbed Modeler* (anteriormente conocida como *OPNET Modeler*). Para ello se elaboró el caso de prueba, el cual fue implementado por medio de tres escenarios distintos, cuya diferencia radicaba en el tipo de medios transmitido por cada nodo de la red (Escenario 1: datos y procesamiento LPR local, Escenario 2: Imágenes y datos, Escenario 3: Vídeo y datos).

Entre los resultados de las pruebas de concepto destaca que el escenario 3 fue el que mejor satisfizo los parámetros basados en los requerimientos cuantitativos, ya que a pesar de obtener un rendimiento por fuera del rango deseado (50%), los valores de demora (0-35 ms) y pérdida de paquetes (340 paquetes/s) se adaptaron a las definiciones previas.

8.2 Recomendaciones.

- Optimizar los elementos de red pertinentes para que el escenario 3 presente completa factibilidad en un entorno real. Los esfuerzos deben estar orientados a mejorar los valores registrados en el parámetro de rendimiento por medio de técnicas tales como compresión de datos, dimensionamiento de los enlaces, etc.
- Realizar un estudio basado en determinar otros parámetros de la red de interés que también se pueden considerar requerimientos cualitativos, por ejemplo, carga de la red, intentos de retransmisión, retraso de acceso al medio, métricas del protocolo de enrutamiento (saltos, estado del enlace), entre otros.
- Desarrollar un modelo de presupuesto del enlace con la finalidad de determinar las características físicas que permitirán que la red diseñada se comporte de la misma manera en que se demostró durante las pruebas de concepto.
- Proponer proyectos alternativos donde se haga uso de las ideas planteadas en las opciones planteadas, pero no seleccionadas en la presente investigación.
- Extender el alcance del diseño de la red *Mesh* con orientación al monitoreo vehicular para otras prestaciones de la *Smart City*, incluyendo control del tráfico, video-vigilancia, telemetría, monitoreo de peajes, terminales y estacionamientos, entre otros.
- Ampliar sobre la base proporcionada en la presente investigación para plantear redes que cumplan con los modelos presentados sobre *Smart Cities*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Venezolana de Noticias. (27 de Noviembre de 2013). *Sima: 30.000 cámaras de seguridad monitorearán 16 localidades del país*. Agencia Venezolana de Noticias. Obtenido de <http://www.avn.info.ve/contenido/sima-30000-c%C3%A1maras-seguridad-monitorear%C3%A1n-16-localidades-del-pa%C3%ADs>
- Alcaldía Metropolitana de Caracas. (12 de Mayo de 2015). *Caracas en un click*. Obtenido de <http://www.caracasenunlick.com/unidades-de-planificacion-fisica/>
- Alcatel-Lucent. (23 de Febrero de 2012). *Getting Smart about Smart Cities: Understanding the Market Opportunity in the Cities of Tomorrow*. Obtenido de http://www2.alcatel-lucent.com/knowledge-center/admin/mci-files-1a2c3f/ma/Smart_Cities_Market_opportunity_MarketAnalysis.pdf
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración*. Caracas: Editorial Episteme.
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigación*. Caracas: BL Consultores Asociados.
- Berrone, P., y Ricart, J. E. (10 de Marzo de 2015). *Índice IESE Cities in Motion 2015*. Obtenido de <http://www.ieseinsight.com/doc.aspx?id=1679&idioma=2>
- Bharosa, N. (2011). *Netcentric Information Orchestration: Assuring information and system quality in public safety networks*. Delft: Delft University of Technology.
- Canestraro, D., Pardo, T., Raup-Kounovsky, A., y Taratus, D. (2009). Regional telecommunication incident coordination: Sharing information for rapid response. *Information Polity: The International Journal Of Government & Democracy In The Information Age*, 14(1,2), 113-126.
- Chen, L.-W., Syue, K.-Z., y Tseng, Y.-C. (2014). Surveillance on-the-road: Vehicular tracking and reporting by V2V communications. *Computer Networks*, 67, 154-163.
- Cisco Systems, Inc. (26 de Junio de 2015). *Cisco Wireless Mesh Access Points, Design and Deployment Guide, Release 8.1*. Obtenido de Site Preparation and Planning: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/technology/mesh/8-1/design/guide/b_mesh_81.html

Colegio de Ingenieros de Venezuela. (10 de Enero de 2012). *Código de Ética Profesional*. Obtenido de http://www.civ.net.ve/uploaded_pdf/cep.pdf

Comisión Nacional de Telecomunicaciones. (18 de Octubre de 2014). *Avanza creación de red de emergencia y seguridad ciudadana*. Obtenido de <http://www.conatel.gob.ve/avanza-creacion-de-red-de-emergencia-y-seguridad-ciudadana/>

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1999). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.908 (Extraordinario)*. Caracas, 19 de febrero de 2009.

Davie, B., y Peterson, L. (2012). *Computer Networks: A systems approach*. Burlington: Elsevier, Inc.

Decreto con fuerza de Ley de coordinación de seguridad ciudadana. (2001). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.318*. Caracas, 06 de noviembre de 2001.

Dunkels, A., y Vasseur, J.-P. (2010). *Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet*. Burlington: Elsevier.

Escorcia, O. (2010). *Manual para la Investigación. Guía para la formulación, desarrollo y divulgación de proyectos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Evans, D., Jarboe, G., Smith, M., Thomases, H., y Treadaway, C. (2001). *Networking Complete*. Alameda: SYBEX Inc.

Fistola, R. (2013). Smart City: riflessioni sull'intelligenza urbana. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 6(1), 47-60.

González, B. (10 de Septiembre de 2007). *Instalaron cámaras de seguridad en Candelaria*. *El Universal*. Obtenido de http://www.eluniversal.com/2007/09/10/ccs_art_instalaron-camaras-d_457635

González, B. (26 de Enero de 2007). *Smartmatic proyectó plan de seguridad con cámaras*. *El Universal*. Obtenido de http://www.eluniversal.com/2007/01/26/ccs_art_156404

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

- Herrera, R. (2009). Mesh: Una tecnología para disminuir la Brecha Digital. Trabajo Especial de Grado presentado ante la Universidad Metropolitana, Dirección de Estudios de Postgrado del área de estudios de ingeniería, para obtener el grado de Especialista en Gerencia y Tecnología de las Telecomunicaciones. Caracas: UNIMET.
- Hiertz, G., Denteneer, D., Max, S., Taori, R., Cardona, J., Berlemann, L., y Walke, B. (2010). IEEE 802.11s: The WLAN Mesh Standard. *IEEE Wireless Communications*, 17(1), 104-111.
- Iapichino, G., Câmara, D., Bonnet, C., y Filali, F. (2011). Public Safety Networks. En M. Cruz-Cunha, y F. Moreira, *Handbook of Research on Mobility and Computing: Evolving Technologies and Ubiquitous Impacts* (págs. 267-284). Nueva York: IGI Global.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2012). *IEEE Std 802.11-2012. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control*. Nueva York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (25 de Noviembre de 2013). *IEEE Code of Ethics*. Obtenido de <http://www.ieee.org/about/corporate/governance/p7-8.html>
- Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI). (1999). *TR 101 329 V2.1.1*. Valbonne: ETSI.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2014). *XIV CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA: Resultados por Entidad Federal y Municipio del Distrito Capital*. Caracas: INE.
- Jameel, M., y Sarfraz, M. (2005). *Computer-Aided Intelligent Recognition: Techniques and Applications*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kumar, V. (2015). *E-Governance for Smart Cities*. Singapur: Springer Science+Business Media.
- Kurose, J., y Ross, K. (2013). *Computer Networking: A top-down Approach*. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.
- Ley de Transporte Terrestre. (2008). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.985*. Caracas, 01 de agosto de 2008.
- Ley Orgánica de Telecomunicaciones. (2011). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.610*. Caracas, 07 de febrero de 2011.

- Lu, Z., y Yang, H. (2012). *Unlocking the Power of OPNET Modeler*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Martin, M., y Schinzinger, R. (2010). *Introduction to Engineering Ethics*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Methley, S. (2009). *Essentials of Wireless Mesh Networking*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Miller, M. (2015). *The Internet of Things: How Smart TVs, Smart Cars, Smart Homes and Smart Cities are changing the world*. Indianapolis: Pearson Education, Inc.
- Ministerio del Poder Popular para la Cultura . (2007). *Catálogo del Patrimonio Cultural Venezolano 2004-2007. Municipio Libertador*. Caracas: Fundación Imprenta de la Cultura.
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). (2003). *Manual de Frascati: Medición de las actividades científicas y tecnológicas*. París: Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT).
- Programa Venezolano de Educación-Acción en Derechos Humanos (PROVEA). (16 de Abril de 2013). *PROVEA Informe Anual*. Obtenido de <http://www.derechos.org.ve/pw/wp-content/uploads/21SeguridadCiudadana1.pdf>
- Raj, P., y Raman, A. (2015). *Intelligent Cities: Enabling Tools and Technology*. Boca Ratón: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.
- Santi, P. (2012). *Mobility Models for Next Generation Wireless Networks*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Sarmiento, D. (2011). Las Ciudades Sustentables como tendencia de la Planificación Urbana apoyada en las tecnologías. Trabajo de Grado presentado ante la Universidad Central de Venezuela, comisión de estudios de postgrado de la Facultad de Humanidades y Educación, para obtener el grado de Magíster Scientiarum en Información y Comunicación para el Desarrollo Caracas: UCV.
- Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T). (2003). *Recomendación UIT-T G.114*. Ginebra: UIT-T.
- Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) Grupo Temático sobre Ciudades inteligentes y sostenibles. (3 de Diciembre

- de 2014). *Grupo Temático sobre ciudades sostenibles e inteligentes*. Obtenido de <http://www.itu.int/es/ITU-T/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx>
- Serpanos, D., y Wolf, T. (2011). *Architecture of Network Systems*. Burlington: Elsevier, Inc.
- Sugeng, W., Istiyanto, J., Mustofa, K., y Ashari, A. (2015). The Impact of QoS Changes towards Network Performance. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, 3(2), 48-53.
- Tablante, C., y Tarre, M. (2013). *Estado Delincuente. Cómo actúa la delincuencia organizada en Venezuela*. Caracas: Cyngular Asesoría 357, CA.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México D.F.: Editorial Limusa, S.A de C.V.
- Universidad de Adelaida. (14 de Mayo de 2014). *Templates and Tools*. Obtenido de Pre-feasibility Report: <https://www.adelaide.edu.au/learning-technologies/innovations/framework/templates-tools/>
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL.
- Velazco, J. (2011). *Instructivo Integrado para Trabajos Especiales de Grado*. Caracas: UCAB.
- Wong, B. (2015). IOT Standards and Frameworks. *Electronic Design*, 63(6), 28-33.

ANEXOS

Anexo 1. Criterios para la evaluación de Premisas

PREMISA	IMPORTANCIA (A – ALTA; M – MEDIA; B – BAJA)	PESOS (A – 5; M – 3; B – 1)	0 PUNTOS	1 PUNTO	2 PUNTOS
Ciclo de vida	A	5	Fin	Intermedio	Inicio
Cantidad de Hardware/Software nuevo requerido	B	1	Elevado	Intermedio	Bajo
Pago de equipos y licencias	A	5	Elevado	Intermedio	Bajo
Personal: Implementación y gestión	A	5	≥ 1000 horas/hombre	≥ 500 y < 1000 horas/hombre	< 500 horas/hombre
Personal: Adiestramiento y soporte	M	3	≥ 600 horas/hombre	≥ 200 y < 600 horas/hombre	< 200 horas/hombre
Calidad de los datos	M	3	Pobre	Intermedio	Óptimo

Fuente: Adaptado de Universidad de Adelaida (2014)

Anexo 2. Matriz de Prueba.

Preparación de los Escenarios de Prueba	
Los escenarios de prueba se encuentran definidos	☐
Los escenarios de prueba fueron documentados	☐
Los escenarios de prueba son posibles de simular	☐
Observaciones:	
Verificación Conceptual	
Los requerimientos de la red se encuentran definidos	☐
Se conocen las características de la plataforma que debe soportar la red	☐
Observaciones:	
Planificación de los Escenarios de Prueba	
Las condiciones de los escenarios fueron establecidas	☐
Los escenarios se ejecutan en un entorno controlado	☐
Observaciones:	
Verificación de la Estructura Lógica	
Los elementos de la red fueron implementados	☐
No se han encontrado errores durante la ejecución de las pruebas	☐
Observaciones:	
Verificación de los Resultados	
Todos los escenarios de prueba concluyeron de forma exitosa	☐
Existe un escenario preferible o ideal	☐
Observaciones:	