



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN
UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA**

Miguel Ernesto Morales Laynez

Asesorado por el Maestro Ing. Luis Ariel Rosales Ruiz

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN
UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIGUEL ERNESTO MORALES LAYNEZ

ASESORADO POR EL MAESTRO ING. LUIS ARIEL ROSALES RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magali Herrera de López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN
UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Postgrado, con fecha 30 de octubre de 2021.

Miguel Ernesto Morales Laynez



EEPFI-PP-0187-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Telecomunicaciones - Telecomunicaciones**, presentado por el estudiante **Miguel Ernesto Morales Laynez** carné número **200213147**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

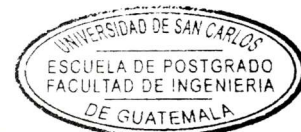
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

LUIS ARIEL ROSALES RUIZ
INGENIERO ELECTRONICO
COL. No. 12535

Mtro. Luis Ariel Rosales Ruíz
Asesor(a)

Mtro. Mario Renato Escobedo Martinez
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0187-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Ernesto Morales Laynez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

Guatemala, 22 de octubre del 2021

M.A. Ingeniero
Edgar Darío Álvarez Cotí
Director de Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Estimado M.A. Ing. Álvarez:

Por medio de la presente informo a usted, que como asesor del Trabajo de Graduación del estudiante universitario **Miguel Ernesto Morales Laynez**, quien se identifica con el carné universitario número **2002-13147**, procedí a revisar el protocolo de tesis del programa maestría en **Ingeniería para la Industria con Especialidad en Telecomunicaciones**, cuyo título es: **"DISEÑO DE ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA"**. El cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro Particular.

Atentamente.


M. A. Ing. Luis Ariel Rosales Ruiz

Colegiado 12535

Asesor de Tesis

LUIS ARIEL ROSALES RUIZ
INGENIERO ELECTRÓNICO
COL. No. 12535

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.490.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ARQUITECTURA DE RED EMPRESARIAL SD-WAN UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA UNA PYME GUATEMALTECA**, presentado por: **Miguel Ernesto Morales Laynez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis padres	María Morales y Vicente Medrano, por darme la vida y sus consejos.
Mis hermanos	Neli Sincal, Alejandra, Nicté y Fidel Medrano, quienes siempre llevo en mis pensamientos.
Mis primos	Daniel y Alejandro Martín, Rafael y Gabriela Álvarez, y Jackeline Gómez, con quienes hemos aprendido lecciones de vida.
Mis amigos	Billy García y Joel Revolorio por el apoyo que nos brindamos en el transcurso de nuestros estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por el privilegio de poder formarme académicamente en esta casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme adquirir un amplio conocimiento profesional.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por haberme formado en la rama de la ingeniería electrónica.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por ampliar mi formación profesional en el ámbito de las telecomunicaciones.
Maestro Ingeniero	Luis Ariel Rosales, por su asesoramiento en el planteamiento del plan de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	8
3.3. Delimitación del problema	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
6.1. Redes definidas por <i>software</i>	15
6.2. Plano de control y gestión	16
6.3. Virtualización	16
6.4. SD-WAN	16

6.5.	Alcances.....	17
6.6.	Esquema de solución	17
6.7.	Área de estudio	18
7.	MARCO TEÓRICO	19
7.1.	Arquitecturas de red empresariales.....	19
7.1.1.	Red jerárquica	19
7.1.1.1.	Capa de acceso	21
7.1.1.2.	Capa de distribución.....	21
7.1.1.3.	Capa de núcleo	22
7.1.1.4.	Gestión de red.....	22
7.1.2.	Redes SDN	23
7.1.2.1.	Plano de gestión y control	24
7.1.2.2.	Plano de datos	25
7.1.2.3.	Orquestador	26
7.2.	Virtualización de red.....	26
7.3.	Tecnologías de código abierto en redes	28
7.3.1.	Fundación Linux	28
7.3.2.	Open Networking Foundation	29
7.3.3.	OpenDayLight	30
7.3.4.	OpenFlow	30
7.3.5.	OpenStack.....	32
7.4.	Redes WAN	34
7.4.1.	WAN dedicada	35
7.4.2.	WAN definida por software.....	36
7.5.	Pequeña y mediana empresa	38
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41

9.	METODOLOGÍA.....	43
9.1.	Diseño metodológico	43
9.2.	Enfoque de la investigación.....	43
9.3.	Población y muestra	44
9.4.	Técnicas de investigación.....	44
9.5.	Operativización de variables.....	44
9.6.	Fases de la investigación	46
9.7.	Resultados esperados	46
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	49
11.	CRONOGRAMA.....	51
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO	53
13.	REFERENCIAS.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Solución propuesta.....	15
2.	Diagrama de solución.....	17
3.	Ubicación del área de estudio	18
4.	Arquitectura de red jerárquica	20
5.	División del plano de control y datos	31
6.	Estructura de <i>OpenStack</i>	33
7.	Acceso a la WAN dedicado	36
8.	Modelo SD-WAN	37
9.	Cronograma	52

TABLAS

I.	Parque activo empresarial por tamaño de empresa 2015-2017.....	7
II.	Ventas anuales en millones de quetzales de 2015 y 2017 por tamaño de empresa.	9
III.	Capacidad de virtualización	16
IV.	Clasificación MIPYME	38
V.	Cuadro de variables e indicadores	45
VI.	Costo del estudio	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Gbs	Giga Bite por segundo
Mbs	Mega Bite por segundo
Q	Moneda Quetzal
%	Porcentaje

GLOSARIO

API	Conjunto de definiciones y protocolos que se utiliza para desarrollar e integrar el <i>software</i> de las aplicaciones.
ARP	Protocolo de resolución de direcciones físicas.
ASIC	Circuito integrado diseñado para aplicaciones específicas, diseñado para un uso particular.
BGP	Protocolo de puerta de enlace de borde mediante el cual se intercambian rutas entre sistemas autónomos.
CPU	Unidad Central de procesamiento de un equipo de cómputo.
DTLS	Protocolo que proporciona seguridad y seguridad para protocolos de datagramas.
FNV	<i>Function network virtualization</i> , virtualización de las funciones de red.
IaaS	<i>Infrastructure as a service</i> , Infraestructura como servicio.

IPSEC	Protocolo que asegura las comunicaciones en internet a través del cifrado e intercambio de llaves.
ISP	Proveedor de servicio de internet.
IT	Tecnologías de la información.
MIPYME	Micro, pequeña y mediana empresa.
MPLS	Protocolo de una red de transporte basado en el intercambio de etiquetas.
ONF	<i>Open Network Foundation</i> , Fundación de redes de código abierto.
OSPF	Protocolo de red interno basado en el camino más corto y estado de enlace.
PYME	Pequeña y mediana empresa.
RAM	Memoria de acceso aleatorio en una computadora.
RIB	Base de datos de rutas en un conmutador.
SDN	<i>Software defined network</i> , redes definidas por <i>software</i> .
SD-WAN	Red WAN definida por <i>software</i> .

SNMP	Protocolo para la gestión y monitoreo de red.
SSL	Protocolo que brinda autenticación y privacidad de la información mediante el cifrado entre extremos.
TELNET	Herramienta que permite el establecimiento de sesiones de administración hacia equipos remotos.
TLS	Protocolo que brinda seguridad y cifrado en la capa de transporte del modelo TCP/IP.
VLAN	Método para crear redes virtuales y separadas dentro de una misma red local física.
VPN	Herramienta digital que permite el redireccionamiento del tráfico a través de túneles en internet.
WAN	Red que cubre un área geográfica amplia.

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea el diseño de investigación donde se propone una red WAN definida por *software* (SD-WAN) implementada junto a virtualización en la nube como solución para pequeñas y medianas empresas.

Con esta propuesta se pretende permitir acceso a la WAN económica a empresas, por lo cual se abarcaría un amplio rango de empresas en Guatemala ya que la pequeña y mediana empresa representa un alto porcentaje del parque industrial del país. Para abordar la problemática se realizará un estudio sobre una mediana empresa dedicada a la elaboración de prendas de vestir, la cual cuenta con una fábrica, oficinas centrales y un punto de venta.

Se trabajará en seis fases donde se aproximará el estado actual del sistema informático de la empresa, los procesos del área informática, para luego evaluar las diferentes soluciones de redes definidas por *software* (SDN), WAN definida por *software* y virtualización implementadas sobre tecnologías de código abierto, para luego proponer una solución de infraestructura a la empresa que optimice el control y mejore la eficiencia en los diferentes procesos que involucren a las tecnologías de la información (IT).

1. INTRODUCCIÓN

Las redes definidas por *software* son un nuevo paradigma en arquitecturas de red, este tipo de conexiones separa el plano de datos del plano de control, este último centraliza datos de la empresa que lo implementa, colocado dentro de un centro de datos de un tercero o virtualizado en la nube. Esta arquitectura permite que los equipos físicos finales no necesiten gran capacidad de procesamiento debido a que este procesamiento es realizado por el plano de control centralizado. Esto se traduce en una baja en los costos de los equipos finales, por lo tanto, en una reducción de los gastos de operación y mantenimiento.

En el ámbito guatemalteco este tipo de redes tiene un gran potencial en el mercado de las comunicaciones si se orienta a las pequeñas y medianas empresas. Esto debido a que gran parte de este segmento de mercado no tiene implementadas redes WAN por su alto costo con redes tradicionales. La carencia de esta tecnología de comunicación por las pequeñas y medianas empresas representa una gran oportunidad de negocio, ya que las empresas al no poseerlas no tendrían que modificar una arquitectura de red existente, sería una implementación nueva y adaptada al presupuesto de este tipo de empresas.

Con la implementación de nuevas tecnologías también se vuelve necesario el entendimiento del funcionamiento de estas; ya que, los protocolos de comunicación que utilizan, los diferentes modelos de administración, los tipos de proveedores y sus costos. Las redes definidas por *software* se pueden implementar con equipos de proveedores que utilizan protocolos propietarios y sobre las cuales se tiene que invertir en licencias para la implementación, sin

embargo, existe la alternativa de protocolos de código abierto desarrolladas por instituciones de prestigio y auspiciados por compañías fabricantes de equipos de red. La implementación de tecnologías basadas en código abierto, unido a la virtualización en la nube representan una oportunidad para empresas con bajo presupuesto, permitiéndoles suplir necesidades de comunicación, acceder a nuevos mercados y ser más competitivas.

Se propone en este documento un diseño de arquitectura de red empresarial con SD-WAN utilizando tecnologías de código abierto para las pymes guatemaltecas, dentro del diseño se propone el plano de control y administración virtualizado en la nube. La implementación de tecnologías de código abierto desarrolladas por la fundación Linux y avaladas por fabricantes de equipos de telecomunicaciones garantizan el soporte y el cumplimiento con los estándares que garanticen la operatividad de la red.

En el capítulo, uno se presentará una descripción de las redes definidas por *software*, los protocolos que utilizan para su funcionamiento, así como los diferentes fabricantes involucrados en el desarrollo de dicha tecnología.

En el capítulo dos, se presentarán los diferentes modelos de administración actuales, así como los orientados a las redes definidas por *software*, estos pueden ser administración con virtualización en la nube, en data center propio o un servicio de colocación. Se describirán así mismo los diferentes protocolos involucrados.

En el capítulo tres, se analizarán los modelos de redes WAN actuales y una comparativa con las redes WAN definidas por *software*, se abordarán las tecnologías de código abierto y propietarias.

2. ANTECEDENTES

Bejudo (2016) efectuó una investigación de la seguridad en las redes definidas por *software* y que debido a que es un nuevo paradigma existen muchos aspectos que se pueden analizar sobre sus vulnerabilidades. En su trabajo menciona que el plano de control es uno de los principales objetivos de un potencial atacante por su papel primordial dentro de la arquitectura de red. Menciona que los elementos primordiales a proteger son: el controlador, la privacidad e integridad y entre las acciones que se deben llevar a cabo son la creación de un *framework* de política robusto y llevar análisis forenses de red periódicos. Bejudo concluye, que la seguridad en las SDN es un aspecto poco investigado o que aún no se encuentra suficientemente documentados y menciona que las redes definidas por *software* hacen uso de soluciones de red convencionales para mitigar vulnerabilidades.

Cordero (2017) realizó una investigación sobre virtualización de redes aplicando redes SDN, para desarrollar su investigación implemento su diseño en un entorno de máquinas virtuales y simulación como laboratorio. En su diseño el implementa *OpenDayLight* como controlador para centralizar la gestión y administración de los elementos o dispositivos que componen red los cuales simulo mediante *Mini net*. Para la virtualización de funciones de red FNV implemento *OpenSatak* para poder crear redes y ruteadores virtuales y aplicar balanceo de carga y políticas de seguridad. En el desarrollo del proyecto Cordero hizo uso de tecnologías de código abierto mencionadas anteriormente, así mismo hace uso del protocolo de comunicación SDN *OpenFlow*. Concluye que las SDN simplifican el despliegue de la red, así como su administración reduciendo los

tiempos de atención requeridos para la resolución de fallas y los costos de los equipos.

Jiménez (2018) realizó una investigación sobre soluciones SD-WAN basadas en SDN, donde empleo el protocolo *OpenFlow* para el despliegue y desarrollo de la solución implementando en un entorno virtual. En su trabajo plantea una solución al problema del aumento de tráfico multimedia, su objetivo se centró en proporcionar una solución basada en una red definida por *software* libre. Jiménez concluye que las redes definidas por *software* ofrecen una gran flexibilidad y que a pesar de que SDN no tiene el futuro asegurado de ser la arquitectura predominante si será uno de los modelos más utilizados.

Guerreo (2020) simuló en su trabajo de graduación una red definida por *software* para poder ser utilizada en el laboratorio de la facultad de ingeniería de su casa de estudios. Para su implementación y desarrollo utilizo el simulador de redes *Mininet* el cual es compatible con distribuciones Linux, así mismo entre tres controladores propuestos y probados selecciono *OpenDaylight* debido a la flexibilidad que ofrece, poseer mayor documentación y por ser tecnología de código abierto. En su trabajo el aborda los conceptos más generales de las SDN, los protocolos que dan vida a la arquitectura de red y brinda un ejemplo práctico de aplicación en un entorno simulado y virtualizado.

Alvarado (2020) en su tesis propuso un diseño de red SDN / NFV para redes de datos de proveedores de servicios de internet. En su trabajo da a conocer los fundamentos de las SDN, las redes virtualizadas en cuanto a sus funciones, las arquitecturas de red actuales y arquitecturas basadas en SDN y FNV. Para la solución que propuso utilizo tecnologías de código abierto como *OpenStack* y *OpenFlow*, así como la virtualización mediante contenedores. En su trabajo concluye que las redes definidas por *software* junto con la virtualización

de funciones de red son una clara ventaja ya que mejoran notablemente la escalabilidad y disponibilidad de la red. Así mismo, evidencia que la implementación de SDN / FNV permite compartir recursos y reduce la cantidad de nodos individuales dentro de la red, que por lo general desperdician recursos, por lo que con esta arquitectura se disminuye la cantidad de equipos. Por lo tanto, el costo de implementación de una arquitectura de red basada en *software*, esto en comparación a las tradicionales.

López (2020) en su trabajo de investigación emuló una red SD-WAN utilizando GNS3 y equipos Fortinet. En su trabajo López analiza las redes WAN definidas por *software* en un entorno de simulación, así como las características de la red MPLS. También describe cómo funciona e implementa la arquitectura de red WAN definida por *software* SD-WAN, los diferentes protocolos que se deben entender para la configuración de los túneles tanto para los enlaces SD-WAN Ipsec-VPN, como también el protocolo SSL-VPN para el cifrado de la comunicación entre el plano de datos y el plano de control a través de Internet. López concluye que Fortinet es una buena solución para SD-WAN ya que garantiza la integridad de la información.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Según el informe de la situación y evolución del sector MIPYME de Guatemala 2015-2017, en Guatemala este sector de empresas representa alrededor del 80 % de la generación de empleo y su contribución al producto interno bruto de alrededor del 40 %. De la totalidad de las empresas este sector representaba en ese periodo más del 99 %.

Tabla I. **Parque activo empresarial por tamaño de empresa 2015-2017**

Tamaño de la empresa	2015		2016		2017	
	%	#	%	#	%	#
Microempresas	88.73	330,752	90.17	393,730	90.34	435,043
Pequeñas	9.76	36,398	8.55	37,352	8.42	40,568
Medianas	1.08	4,027	0.92	3,999	0.90	4,328
Grandes	0.43	1,602	0.36	1,591	0.34	1,631
Total empresas	372,779		436,672		481,570	

Fuente: elaboración propia empleando Excel, con datos del INE 2018.

En un mundo cada vez más globalizado la competitividad es un factor clave para el crecimiento de las empresas y un elemento indispensable para la eficiencia de las empresas es la comunicación efectiva. Para lograr una comunicación efectiva es indispensable que se cuente con un sistema de redes informáticas que garanticen la comunicación interna, hacia los clientes y hacia clientes potenciales nacionales y extranjeros.

3.2. Descripción del problema

En Guatemala menos del 1 % del total de las empresas pertenece al rango de grandes empresas las cuales pueden debido a su nivel de ingresos suplir fácilmente sus necesidades de infraestructura de red y tener un departamento de IT. Sin embargo, el alto costo que implica una infraestructura de red tradicional es una limitante al momento que una PYME desea implementar una arquitectura de red que le permita ser más competitiva. En ese contexto surge la cuestión ¿Qué arquitectura de red WAN permite interconectar las sucursales de las PYMES guatemaltecas de una manera económica y eficiente?, se debe determinar si una arquitectura de red de enlace dedicado es una solución viable para este sector o existen nuevas tecnologías que satisfagan esta necesidad adecuándose al nivel de ingresos y tamaño de las empresas del sector.

El desarrollo de nuevas tecnologías se ve potenciado por las tecnologías de código abierto por lo tanto es de cuestionarse ¿Qué tecnologías de redes definidas por *software* libre existen que se adapten fácilmente a las necesidades de las pymes guatemaltecas?, esto con la finalidad de valorar las tecnologías definidas por *software* propietarias y de código abierto, así como la viabilidad de su implementación. Así mismo las redes necesitan ser administradas para mantener un alto grado de disponibilidad, existen para esto diferentes modelos de administración para lo cual un arquitecto de red debe preguntarse ¿Cuáles son los modelos de administración de red existentes?, con la finalidad de elegir la forma más eficiente de administración de acorde al tamaño de la red y la compañía.

A medida que una empresa crece y empieza a tener sucursales, la implementación de redes WAN empiezan a ser indispensables, sin embargo, las redes WAN tradicionales podrían implicar un alto costo para las empresas en

crecimiento por lo que es necesario realizar la pregunta ¿Qué soluciones WAN existen en el mercado y los costos de implementación?, para determinar si existen alternativas que se ajusten a empresas en crecimiento.

3.3. Delimitación del problema

Según datos del INE presentados en la tabla 2, del sector MIPYME, las pequeñas y medianas empresas representan en los periodos 2015 y 2017 el 87 % de ventas del sector, esto a pesar de que como se observa en la tabla 1 la microempresa representa aproximadamente el 90% la totalidad de las empresas del sector MIPYME. Por lo tanto, este sector donde se puede enfocar la implementación de una arquitectura de red definida por *software* económica que mejore la comunicación interna y externa, permitiéndole a estas empresas ser competitivas y poder tener acceso a mercados nuevos tanto nacionales como en el extranjero.

Tabla II. **Ventas anuales en millones de quetzales de 2015 y 2017 por tamaño de empresa**

Tamaño de la empresa	2015		2017	
	Monto	%	Monto	%
Microempresas	Q 22,392.10	13	Q 29,722.18	13
Pequeñas	Q 76,315.20	44	Q 98,885.90	44
Medianas	Q 76,560.30	43	Q 95,064.71	43
Total	Q 175,177.60	100	Q 223,672.79	100

Fuente: elaboración propia empleando Excel, con datos del INE 2018.

Se tomará como caso de estudio una empresa dedicada a la producción de prendas de tela, con una central donde se encuentra la fábrica y con una sucursal como punto de venta y negocios. La empresa está ubicada en la colonia

Tulam Tzu, zona 4 de Mixco y la sucursal se encuentra ubicada en el centro comercial Montserrat.

4. JUSTIFICACIÓN

Guatemala por ser un país en vías de desarrollo, posee un alto porcentaje de pequeñas y medianas empresas; así mismo, la competitividad de estas empresas en el mercado local o internacional puede verse impulsado si cuentan con eficientes sistemas de comunicación y control. Las redes de comunicación utilizadas y ofrecidas actualmente suponen una alta inversión de equipo y un alto costo de mantenimiento y soporte. Por lo cual, el paradigma de virtualización y redes definidas por *software* brindan una posibilidad de acceso a estas empresas, ya que con estas técnicas y tecnología se logra reducir costos y la necesidad de adquisición de equipos físicos costosos.

El hecho de que este tipo de empresas no hayan podido suplir sus necesidades de comunicación y control por medio de la oferta de conectividad actual, permite a esta tecnología emergente, cubrir ese nicho de mercado. De tal manera que es una oportunidad tanto para las empresas a las que se pretende llegar, como una para empresas en el ámbito de redes y telecomunicaciones en ofrecer este servicio.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer una arquitectura de red con SD-WAN como alternativa económica para interconectar sucursales de PYMES guatemaltecas.

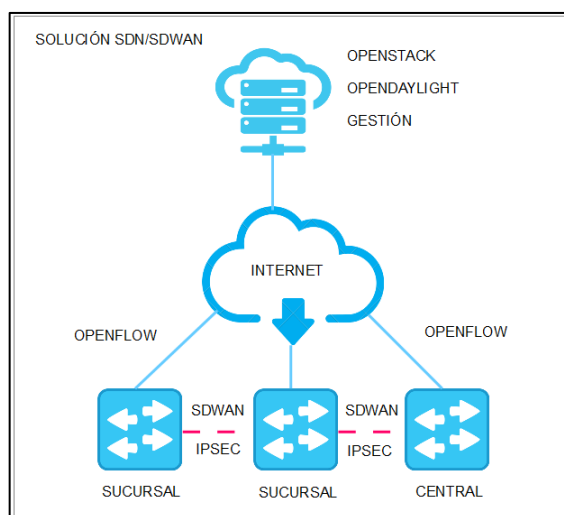
5.2. Específicos

- Diseñar una arquitectura de red definida por *software* libre que pueda fácilmente ser adoptada por empresas pequeñas y medianas.
- Proponer un modelo de administración de red en la nube basado en tecnologías de *software* libre.
- Definir una arquitectura de comunicación SD-WAN entre sucursales.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La solución propuesta es la implementación de una red definida por *software* con administración y control de manera virtualizada en la nube como se muestra en la siguiente figura. Se toma en cuenta para el diseño el factor económico debido a que la solución está enfocada a la pequeña y mediana empresa (PYMES) en el ámbito guatemalteco.

Figura 1. Solución propuesta



Fuente: elaboración propia, empleando LibreOffice Draw.

6.1. Redes definidas por *software*

En este aspecto se implementará el protocolo *OpenFlow* el cual es de código abierto y tiene el respaldo de grandes empresas a nivel mundial al haber sido implementadas por ellas.

6.2. Plano de control y gestión

El plano de control y gestión se implementarán sobre las plataformas *opendaylight* y *openstack* respectivamente, las cuales se encuentran también desarrollados por la *open network foundation* (Fundación de redes libres) y que son totalmente compatibles con *openflow*.

6.3. Virtualización

El plano de control y gestión se propondrá implementarlo en un servicio de virtualización en la nube, contratando un servidor con sistema operativo Linux ya que todos los protocolos y plataformas son nativas de este sistema operativo, se debe cumplir con las capacidades presentadas en la siguiente tabla.

Tabla III. Capacidad de virtualización

Característica	Capacidad
Memoria RAM	8GB
CPU	6 núcleos
Almacenamiento	50GB

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

6.4. SD-WAN

La comunicación entre las sucursales se implementará como WAN definida por *software*, administradas desde las mismas plataformas propuestas. Los enlaces de internet sobre los cuales se configure la SDWAN pueden ser desde un enlace para el hogar, hasta un enlace dedicado, esto dependiendo del presupuesto de cada empresa.

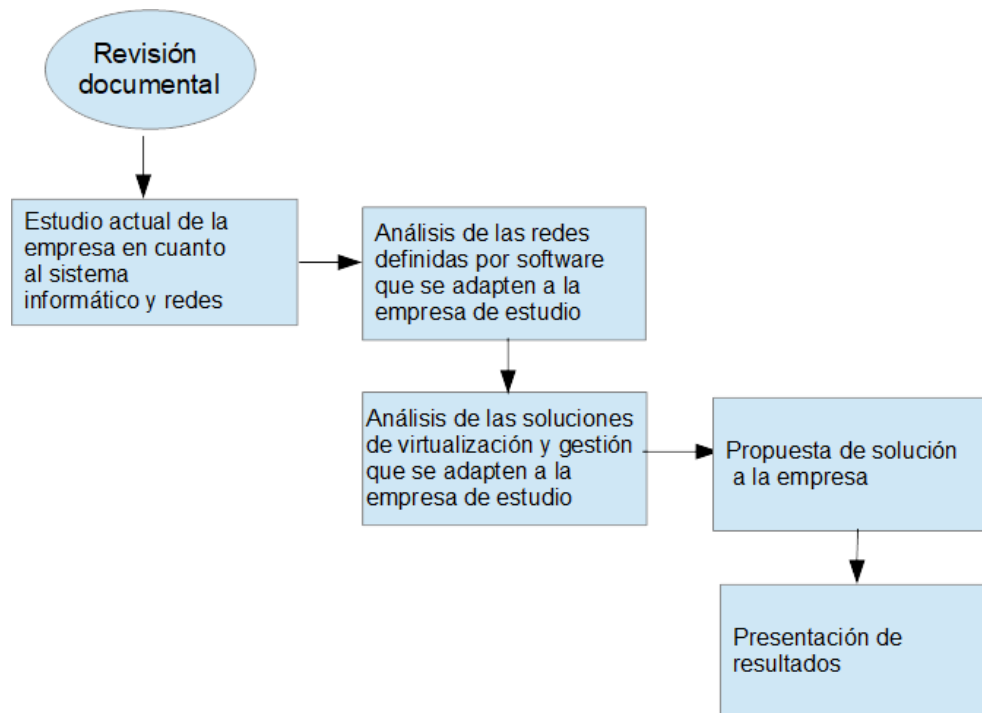
6.5. Alcances

La solución está enfocada a las PYMES guatemaltecas en la cual se tomará en consideración como punto importante costos de mantenimiento e implementación, sin embargo, esta solución podría alcanzar a microempresas que estén cerca de encuadrar en el rango de pequeña empresa, así como grandes empresas.

6.6. Esquema de solución

A continuación, en la figura 2 se presenta el diagrama de solución.

Figura 2. Diagrama de solución

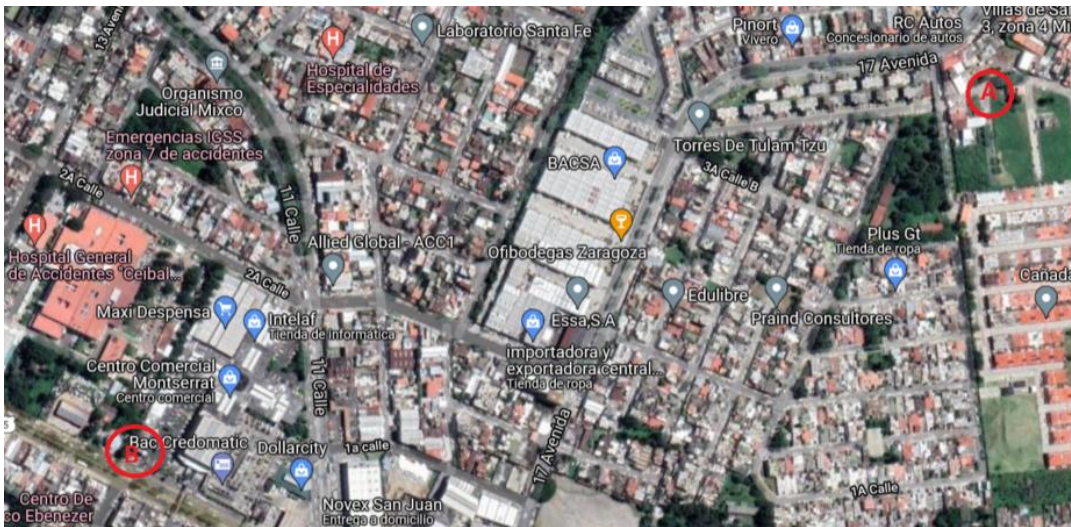


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

6.7. Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona 4 del municipio de Mixco, departamento de Guatemala. Las oficinas centrales se encuentran el sector de Tulam Tzu (punto A) y el punto de venta se encuentra en el centro comercial Montserrat (punto B).

Figura 3. Ubicación del área de estudio



Fuente: Google Earth 2021. *Mapa de Tulam Tzu*. Consultado el 28 de agosto de 2021.

Recuperado de <https://www.google.com.mx/maps/search/tulam+tzul/@14.6411174,-90.5800571,15z/data=!3m1!4b1>

7. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de nuevas tecnologías no solamente trae consigo mejoras en las capacidades físicas y de *software* de los equipos, existen cambios estructurales en los que se requiere dejar de hacer las cosas como se venían realizando, a esto es lo que se llama un cambio de paradigma. En lo referente a las redes, la migración hacia un nuevo paradigma se enfoca con la implementación de redes SDN las cuales separan el plano de datos del plano de control, centralizando este último.

Para poder comprender los beneficios de la implementación de las SDN se hace necesario entender cómo es que se están realizando las cosas y hacia donde se va, así mismo es importante mencionar el auge que tienen las tecnologías de código accesible a la comunidad y el gran beneficio que esto representa para las empresas.

7.1. Arquitecturas de red empresariales

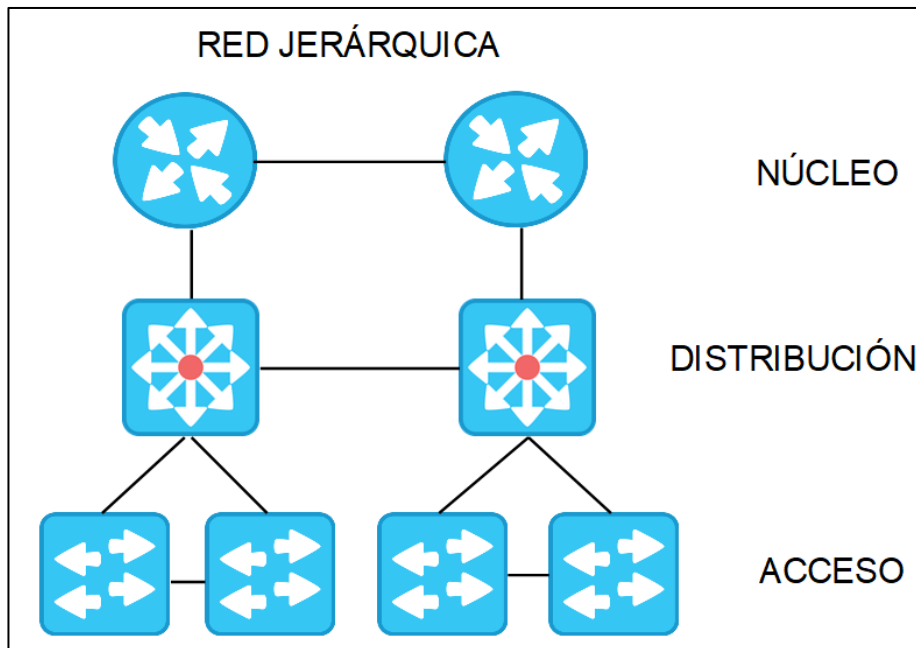
En los siguientes incisos se describen las arquitecturas de redes empresariales.

7.1.1. Red jerárquica

La arquitectura de red jerárquica es cuando menos la topología de red más implementadas en la actualidad, esta divide la red en acceso, distribución y núcleo, centrándose en la funcionalidad de cada equipo dentro de la red tal como se observa el diagrama en la figura 4.

Dependiendo del tamaño de la red cada capa de la topología jerárquica puede realizar funciones de conmutación o ruteo; para redes pequeñas la distribución y el acceso realizan funciones de conmutación y el núcleo funciones de ruteo; para redes grandes el acceso realiza funciones de conmutación y la distribución y núcleo de ruteo.

Figura 4. **Arquitectura de red jerárquica**



Fuente: elaboración propia, empleando LibreOffice Draw.

Según Alvarado (2020) las redes actuales poseen ciertos desafíos propios de su estructura que las empiezan a limitar. Esto a pesar de que los elementos de la red cuentan con una gran capacidad de procesamiento y el desarrollo en las tecnologías de fibra óptica permiten la transmisión de grandes capacidades de datos.

Entre las limitantes menciona que su arquitectura es compleja y estática, por lo que el manejo de calidad de servicio no se realiza de manera eficiente, también menciona que las políticas deben implementarse en cada equipo de la red volviéndolo un trabajo engorroso y con alto grado de generar fallas o inconsistencias, además indica que su escalabilidad es muy limitada y se tiene una alta dependencia de los fabricantes.

7.1.1.1. Capa de acceso

La capa de acceso en una red empresarial es la que da la cara a los dispositivos finales tales como computadoras, teléfonos, impresoras y cualquier otro dispositivo que tenga la interfaz necesaria para establecer una conexión hacia los equipos de acceso. Los equipos que se pueden encontrar en esta capa son conmutadores, puntos de acceso inalámbrico y enrutadores de pequeño poder de procesamiento. Dependiendo de las dimensiones de la empresa la capa de acceso podría encontrarse en diferentes sucursales y según las necesidades en cada sucursal será la decisión de la capacidad de procesamiento, así como las diferentes funcionalidades de los equipos que se instalen para proporcionar acceso a los usuarios.

7.1.1.2. Capa de distribución

La capa de distribución es la encargada de encaminar el tráfico entre las diferentes sucursales, aunque en determinadas circunstancias por razones de seguridad el tráfico es obligado a enrutarse hacia los equipos de las oficinas centrales, posteriormente se envía hacia las oficinas remotas a la cual el tráfico es destinado. En esta capa es donde se encuentra el acceso a la WAN en una red empresarial con diferentes sucursales distribuidas en un área geográfica

amplia. Una red WAN tradicional requiere el contrato de un servicio dedicado proveído por algún ISP.

Estos enlaces tienen la característica de poseer un alto costo y en muchas ocasiones un bajo rendimiento en la tasa de transferencia de datos, lo beneficioso de estos enlaces es que por lo general tienen un bajo SLA al momento de alguna falla en la comunicación.

7.1.1.3. Capa de núcleo

El núcleo de la red es por lo general implementado en las oficinas centrales, en una red tradicional todo el tráfico de datos e internet es enrutado a los equipos centrales, por lo cual estos equipos deben ser robustos y poseer una gran capacidad de procesamiento. Así mismo el enlace hacia la central es por lo general un enlace estable y en la mayoría de los casos es una fibra óptica dedicada con ancho de banda simétrico. En una red empresarial tradicional se tienen enlaces dedicados de datos hacia las sucursales; si fuera necesario proveer internet a las oficinas remotas se comparte internet a través de los enlaces de datos. Esto hace que tanto el tráfico de datos como el de internet tenga que pasar forzosamente en las oficinas centrales.

7.1.1.4. Gestión de red

Molero (2010) menciona en su trabajo, que a través de la gestión de red se establecen una serie de parámetros de calidad y control sobre todos y cada uno de los servicios que una red de comunicaciones ofrece a sus usuarios para garantizar un óptimo nivel de operatividad y acceso.

Lo anterior deja claro que la gestión, es decir la administración de la red es de suma importancia para mantener una disponibilidad de la red que garantice una excelente experiencia a los usuarios. Las redes de gestión tradicionales se basan en gestores instalados en centros de datos físicos propios de la empresa o arrendados a algún ISP. En muchas ocasiones se tiene un gestor de red por cada fabricante lo cual dificulta la administración de los equipos, una de las soluciones a este inconveniente ha sido la implementación del estándar SNMP para unificar el monitoreo de los dispositivos, sin embargo, la administración de estos se tiene que realizar desde el gestor propietario de cada fabricante.

La gestión de red tradicional implica realizar configuraciones directamente en cada dispositivo y según el modelo jerárquico cada dispositivo implementado debe cumplir con funcionalidades y capacidad de procesamiento acorde a su papel dentro de la red. Esto limita la versatilidad del mantenimiento y reconfiguración de la red y en muchas ocasiones requiere de cambios de equipos, así como personal en el campo para realizar modificaciones a la red.

7.1.2. Redes SDN

Las SDN representan un novedoso paradigma que se estará implementando en las redes futuras, en este nuevo paradigma el plano de datos y control se separan, el plano de datos conocido a veces como plano de flujo se deja mediante circuitos electrónicos especializados como parte de los dispositivos o elementos de red mientras, que el cerebro, es decir, el controlador se centraliza en servidores en un data center.

Este nuevo paradigma de redes es versátil y brinda características para el manejo de calidad en el servicio, sin embargo, es necesario la implementación y entendimiento de los nuevos protocolos de comunicación que intervienen en su

funcionamiento, un autor sostiene que “con las redes controladas por software, los ingenieros de red pueden implementar cambios más rápido” (Odom, 2020, p. 356).

Jiménez (2018) menciona en su trabajo de graduación que la estructura de una SDN en la cual se centraliza el manejo de la red proporciona a los administradores una amplia ventaja ya que de esta manera se pueden generar reportes estadísticos del funcionamiento y monitoreo en tiempo real del comportamiento. Con estas nuevas características de la administración se pueden tomar acciones de manera más efectiva en la solución de fallas y reconfiguración de la red.

7.1.2.1. Plano de gestión y control

Como se ha venido mencionando, el plano de control por lo general se implementa en cada equipo a lo interno de la red, este es el encargado de tomar las decisiones de encaminamiento y manejar los diferentes protocolos de ruteo. Algunos de los protocolos que se observan y se configuran en el plano de control son IPv4 ARP, OSPF, BGP, IS-IS, NDP, STP, etc. La función del plano de control es la de indicarle al plano de datos que debe realizar con cada paquete, el plano de control en su mayoría o por lo general la CPU del equipo de red.

El plano de gestión también es administrado por CPU, en este se encuentran protocolos tales como telnet, ssh, SNMP los cuales son los que permiten la administración remota de los equipos y el monitoreo de fallas.

La solución de SDN centraliza el plano de control y de gestión. Esta centralización puede realizarse en un centro de operaciones de red propio, virtualizado en equipos como servicio de infraestructura o arrendando espacio

físico a un ISP. Esto reduce el costo de los equipos ya que los equipos en la red no necesitan poseer gran capacidad de procesamiento.

Las SDN no necesitan la adquisición de plataformas para la administración de la red, son versátiles, escalables y utilizan mecanismos de cifrado en toda su comunicación. Para agregar un nuevo dispositivo de red simplemente se conecta a la red y se carga la configuración desde el plano de gestión y control centralizado. Esto mismo hace que la resolución de fallas sea más eficiente al estar siempre la copia de la configuración y funcionalidad disponible en el plano de control.

7.1.2.2. Plano de datos

El plano de datos es construido con circuitos integrados de aplicaciones específicas (ASICS) para el reenvío de datos, las cuales obtienen la información del plano de control centralizado en la nube. En este plano se encuentra la *forwarding information base* (FIB) que es la encargada del manejar el flujo de entrada y salida de paquetes, el ASIC analiza los paquetes de entrada y lo envía por el puerto correspondiente sin necesidad de que cada paquete sea analizado por el CPU, la FIB solamente se actualiza cuando el plano de control recibe una actualización en los protocolos de enrutamiento, en este momento el plano de control envía una actualización a los ASICS del plano de datos.

Con la implementación de las redes definidas por *software* los dispositivos o elementos de red solamente manejan el plano de control, es decir poseen diferentes ASICS que manejarán la *Routing Information Base* (RIB). Estos dispositivos deben manejar un protocolo de comunicación de red nuevo, ya que la información que llega al plano de control debe transitar por Internet y por lo

tanto deben establecerse túneles con alto grado de seguridad y cifrado. En estos túneles se puede encontrar tecnologías como IPSEC, TLS, DTLS, etc.

7.1.2.3. Orquestador

Las SDN utilizan los programas informáticos como herramienta principal, de allí que su nombre SDN surgiera a raíz de la amplia utilización que esta tecnología hace de la programación que es donde reside el *software*. Esto implica que estas aplicaciones son las que van a indicar como debe ser el comportamiento de la red, esta es la función del orquestador.

Este último está por encima del plano de control, o sea que es el que le dice al controlador de qué manera debe configurar los dispositivos que componen la red. Existen orquestadores propietarios y de código abierto, así mismo existen diferentes soluciones de dispositivos con protocolos propietarios, libres e híbridos. Los dispositivos híbridos son dispositivos que traen protocolos propietarios con opción de poder implementar protocolos libres.

7.2. Virtualización de red

La virtualización es un concepto en el cual se tiene un *hardware* de propósito general en el cual se puede instalar un *software* según la función que se le quiera dar. La virtualización no es nueva, ya que se ha estado desarrollando para tener varios sistemas operativos en una misma computadora, esto es bastante conocido cuando se realizan máquinas virtuales en *Virtualbox*.

Las redes actuales tienen equipos específicos según su función dentro de la red tales como *firewalls*, enrutadores, conmutadores, equipos NAT, etc. Esto implica la adquisición de cada equipo por separado, lo cual demanda una alta

inversión y la disponibilidad de espacio físico para el despliegue de los equipos. Con la virtualización, como ya se mencionó, se tiene un *hardware* de propósito general y sobre él se virtualiza la funcionalidad que se necesite, inclusive se puede sobre este mismo *hardware* virtualizar más de una funcionalidad, es decir en un mismo equipo físico se podría tener funcionalidad de ruteador y *firewall*.

Características de la virtualización de red:

- Funcionalidad de la red en *software*
- Utilizar *hardware* de propósito general
- Utilizar *APIs* para la implementación
- Automatizar los servicios de la red

La virtualización permite a las empresas adquirir funcionalidades de red virtualizadas en la nube, es decir arrendar *hardware* a algún proveedor de servicios, el proveedor de servicios por lo general arrenda el *hardware* con algún sistema operativo con el que se permite la virtualización donde se implementará la funcionalidad deseada, por lo general se arrenda con el sistema operativo Linux, este sistema operativo es *software* libre y con gran soporte en sus diferentes distribuciones.

La infraestructura como servicio (IaaS, por sus siglas en inglés) ofrece servicio de recursos de computación y almacenamiento cuyos precios varían según el consumo que se realice de estos recursos. Este tipo de solución permite la utilización de recursos compartidos por diferentes usuarios, son las empresas que se dedican a ofrecer estos servicios las que se encargan del mantenimiento y la infraestructura física de los equipos, con lo cual la empresa que desee contratar una infraestructura en la nube debe calcular los requisitos de memoria RAM, núcleos de CPU y almacenamiento. (Pacheco, Garda, Yáñez, 2018, p. 15)

7.3. Tecnologías de código abierto en redes

En los siguientes incisos se detallan las tecnologías de códigos abiertos en redes.

7.3.1. Fundación Linux

La fundación Linux se establece como una entidad sin ánimo de lucro para impulsar el desarrollo de Linux, el cual es un sistema operativo de código abierto y se puede encontrar en una amplia gama de equipos, desde pequeños dispositivos hasta supercomputadoras. Con el pasar de los años Linux se ha convertido en el proyecto de código abierto más grande en el mundo, en la actualidad existen diferentes distribuciones con enfoque en la administración de servidores, redes, *hacking* ético, uso personal, entre otros.

Las diferentes distribuciones Linux cuentan con una gran comunidad detrás para su desarrollo, todas las distribuciones son de código abierto, sin embargo, existen empresas que dan soporte a algunas de estas como una manera de generar ingresos, pero garantizando siempre que el código siga siendo abierto y el sistema operativo está disponible sin costo alguno. Entre los miembros que respaldan el proyecto de la fundación Linux y por lo tanto el desarrollo del sistema operativo están IBM, Intel, NEC, AMD, Cisco, HP, Nokia, entre otros, esto brinda un gran respaldo al desarrollo de las SDN ya que entre los miembros se encuentran grandes empresas fabricantes de dispositivos de red.

7.3.2. Open Networking Foundation

La *Open Networking Foundation* es un consorcio sin fines de lucro el cual impulsa el desarrollo y transformación de la infraestructura de las redes de comunicaciones a través de la investigación aplicada, la educación y la promoción. Es la encargada de estandarizaciones y desarrollo de tecnologías basada en estándares de código abierto bien establecidos, entre sus miembros se encuentran, la Fundación Linux, AT&T, *Google*, Intel, vmware, universidades, institutos entre otros. Esto garantiza que el desarrollo de diferentes tecnologías de red cuente con respaldo importante y que su implementación tenga el soporte necesario.

Entre los protocolos y tecnologías que están en desarrollo por esta entidad se tiene *OpenDayLight*, *Openflow*, *OpenStack*, *Cord*, *Onos*. Estos son importantes tecnologías y protocolos que han sido implementados incluso por grandes empresas como Google en su centro de datos. El hecho de que sean tecnologías de código abierto permite que cualquier empresa pueda implementarlas sin tener que invertir en licencias. Sin embargo, un reto ya que se deben adquirir nuevos conocimientos sobre el funcionamiento de las tecnologías y sus protocolos de comunicación.

Estas herramientas y protocolos de red se mantienen en constante desarrollo por lo que se pueden encontrar diferentes versiones de ellas. Se pueden obtener así mismo versiones en desarrollo, esto es común por el propio espíritu del *software* libre el cual pone a disposición el código a la comunidad para que se puedan hacer mejoras.

7.3.3. OpenDayLight

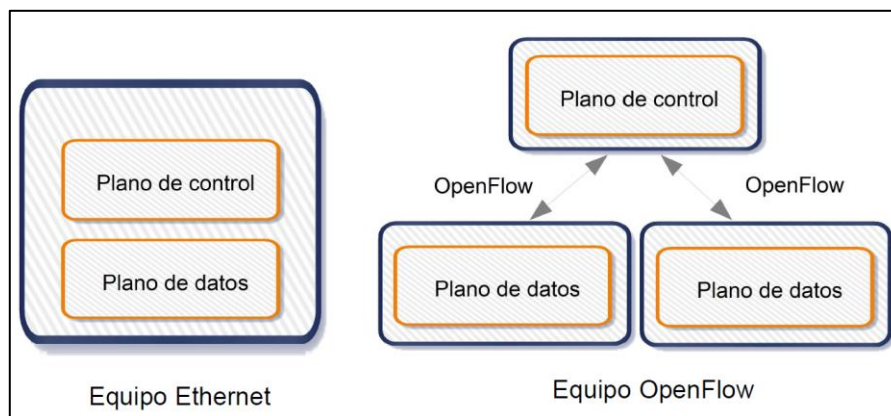
OpenDayLight es un novedoso proyecto que se incluye dentro de los sistemas de código abierto para automatizar redes de cualquier tamaño y escala. *OpenDayLight* brinda soporte para la mayoría de los protocolos SDN tales como *OpenFlow*, BGP, OSPF, NETCONF, entre otros, esto mejora la implementación de redes modernas y cubren la mayoría de las necesidades. La integridad de la información es un área importante en el desarrollo de ODL, la plataforma provee un mecanismo de autenticación, autorización y manejo de cuentas.

OpenDayLight cumple en el esquema de redes definidas por *software* con la función de plano de control, es uno de los controladores más desarrollados y eficientes en la actualidad, es compatible con *OpenFlow* y *OpenStack*. En la web del proyecto <https://docs.opendaylight.org/> se pueden encontrar toda la información sobre el estado de su desarrollo nuevas funcionalidades y pasos para la instalación de cada versión. Una de las características que no deben dejar pasar por alto es que este *software* es nativo de Linux por lo que solo puede ser instalado en un entorno Linux.

7.3.4. OpenFlow

OpenFlow es un protocolo de redes de comunicación abierto desarrollado para dar soporte a las SDN, es desarrollado y promocionado por la ONF. Con *OpenFlow* el plano de control se separa del elemento de red y se define el plano de datos del elemento de red por medio de un controlador, el controlador puede manejar uno o más elementos de red de manera centralizada.

Figura 5. **División de los planos de control y datos**



Fuente: elaboración propia, empleando LibreOffice Draw.

Cada elemento de red se comunicará con el plano de control utilizando como medio el protocolo *OpenFlow*. Esto se puede apreciar en la figura anterior, pues el controlador podrá definir reglas de comunicación para cada elemento de red según se necesite; esto lo realizará mediante la asignación de tablas de flujo las cuales le indicarán a cada equipo como debe ser el reenvío de paquetes o tramas.

El protocolo *OpenFlow* se basa en el concepto de flujo de red, el cual se entiende como un conjunto de paquetes IP con propiedades comunes que están en observación en una red dentro de un intervalo de tiempo específico. Cada equipo dentro del esquema envía paquetes basado en una o más tablas de flujo, los componentes en una entrada de flujo son según la ONF en la especificación *OpenFlow switch* versión 1.5.1 (2015, p. 22):

- Campos de comparación: son campos utilizados para comparar los paquetes, los campos de comparación pueden ser, IP origen y destino,

dirección física de origen y destino, puertos, etiquetas MPLS, VLAN, tipo de servicio, etc.

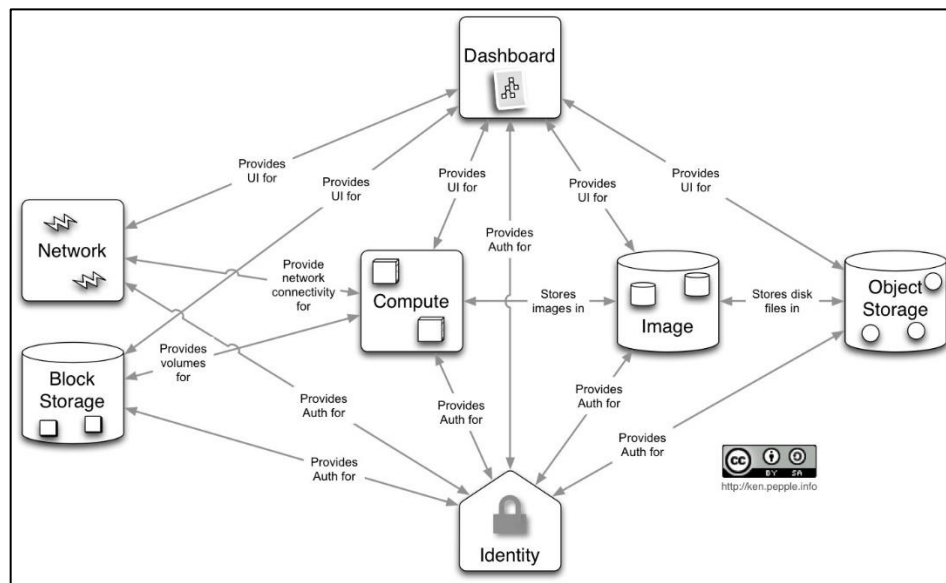
- **Prioridad:** este campo indica con que prioridad serán tratadas las entradas de flujo, la tabla que tenga mayor prioridad será procesada primero y la que cuente con menor prioridad se procesara al final.
- **Contadores:** sirve para indicar la cantidad de paquetes que coinciden con una entrada de flujo, se incrementa cada vez que existe una coincidencia.
- **Instrucciones:** definen cuales son las políticas o acciones que se van a aplicar a la entrada de flujo, estas pueden ser opcionales u obligatorias.
- **Tiempo de espera:** este campo indica la máxima cantidad de tiempo de inactividad en que se vencerá una tabla de flujo, estas pueden ser tiempo de inactividad y tiempo de espera difícil.
- **Cookie:** sirve para identificar entradas de flujo y aplicar políticas de filtrado.
- **Banderas:** las banderas alteran la forma en que se gestionan las entradas de flujo.

7.3.5. OpenStack

Openstack es un *software* de código abierto, y está enmarcado en el modelo de infraestructura como servicio, es ampliamente desarrollado y apoyado por más de 200 empresas reconocidas a nivel mundial. Se utiliza para controlar recursos de red a través de centro de gestión de red administrados por medio de

un plano centralizado de control, está estructurado con los componentes que se muestran en la siguiente figura.

Figura 6. Estructura de *OpenStack*



Fuente: OpenStack. (2021). *OpenStack*. Consultado el 25 de agosto de 2021. Recuperado de <http://docs.openstack.org/developer/keystone/>

Las definiciones y funcionalidades de los elementos de *OpenStack* están definidos en <https://www.openstack.org/> página web de la organización y se listan a continuación:

Compute (Nova), permite el aprovisionamiento y gestión de recursos de computación bajo demanda.

Almacenamiento (Swift), sistema de almacenamiento de objetos que permite la gestión de petabytes de almacenamiento fiable en *hardware* estándar.

Almacenamiento en bloque (Cinder), permite de volúmenes sobre almacenamiento y drivers para integrar sistemas tradicionales como IBM, EMC, HP, Red Hat/Gluster, Ceph/RBD, NetApp, SolidFire, y Nextenta.

Redes (Neutron), permite la automatización de redes definidas por *software* con *backends* contactables el cual está asociado a Nova que permite la abstracción de manera sencilla.

Panel de control (*Horizon*), aplicación de auto servicio basado en roles para usuarios y administradores.

OpenStack permite la creación y administración de nubes privadas y públicas de forma flexible, la cuales deben ser fáciles de diseñar y escalables masivamente. La solución también reduce en gran medida los costos de implementación de plataformas gestionadas en la nube y simplifica la gestión de la red, en otras palabras, la administración y control de la infraestructura.

Cordero (2017) indica que *OpenStack* se basa en ciertos componentes esenciales, que en resumidas cuentas son tres que se comunican entre sí y que definen su funcionamiento. Los administradores acceden a través de una plataforma web (*Horizon*) donde se puede crear redes, ruteadores, corta fuegos, máquinas virtuales entre otros, pudiendo crearlos de una manera gráfica y simplificada a través de Neutron, así mismo se pueden administrar y configurar los diferentes recursos en la nube por medio de Swift. (p. 36)

7.4. Redes WAN

Las redes WAN son utilizadas por las empresas para comunicar su central con sus sucursales, estas cubren una amplia área geográfica, las empresas

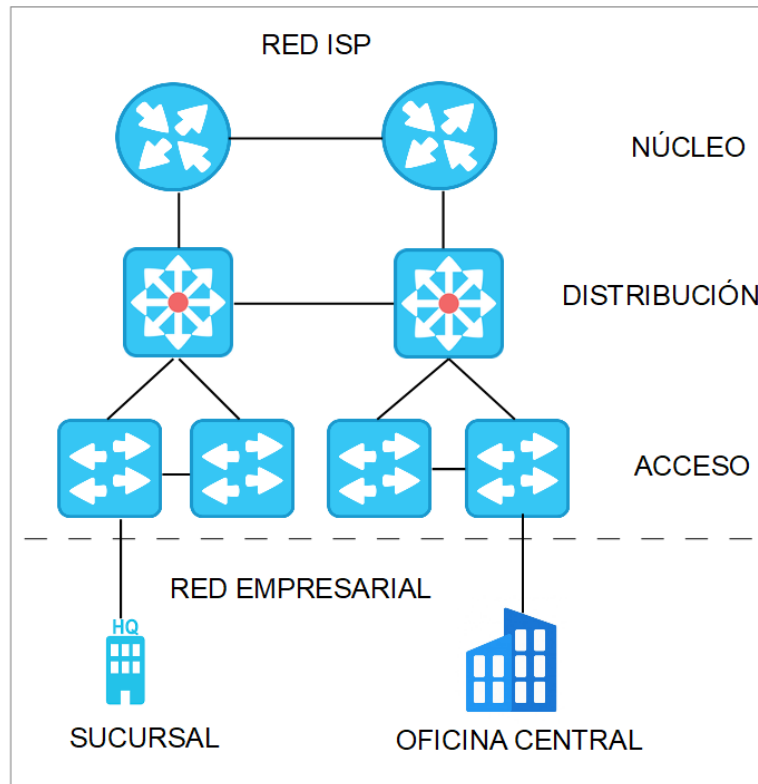
necesitan contratar enlaces a los ISP para lograr dicha interconexión. Los servicios brindados por los proveedores de servicio varían acorde a la tecnología de acceso brindada al cliente, entre las tecnologías de acceso se pueden encontrar GPON, DSL, ADSL, FIBRA, WIMAX, etc. Los costos que una empresa debe incurrir dependen de la tecnología de acceso y el ancho de banda contratado el cual puede ser simétrico o asimétrico.

7.4.1. WAN dedicada

Según Tanenbaum (2003) “Una red de área amplia (WAN), abarca una gran área geográfica, con frecuencia un país o un continente” (p. 19), las redes empresariales al contar con sucursales les es indispensable tener comunicación en red entre estas y las oficinas centrales. Para lograr esta comunicación es necesario que se implementen redes WAN las cuales tradicionalmente son adquiridas a través de un proveedor de servicios de internet, estas redes tradicionales se caracterizan por su alto costo de instalación, rigidez y ancho de banda con precios elevados, a estas se les conoce tradicionalmente como enlaces dedicados.

Un proveedor de servicios de internet por lo general tiene una red de grandes dimensiones, pero siempre dentro del modelo jerárquico. A través de los equipos de acceso del ISP se brindan conexiones a las sucursales de las empresas, estos enlaces dedicados implican la configuración de circuitos específicos para cada enlace. El diagrama en la figura 2 deja en claro que no siempre es necesario que el enlace WAN configurado para cada sucursal pase por el núcleo de la red ISP que es donde un proveedor de servicios tiene la salida hacia Internet, en el diagrama se puede observar que para el establecimiento de la comunicación basta con configurar el servicio hasta la capa de agregación.

Figura 7. **Acceso a la WAN dedicado**



Fuente: elaboración propia, empleando LibreOffice Draw.

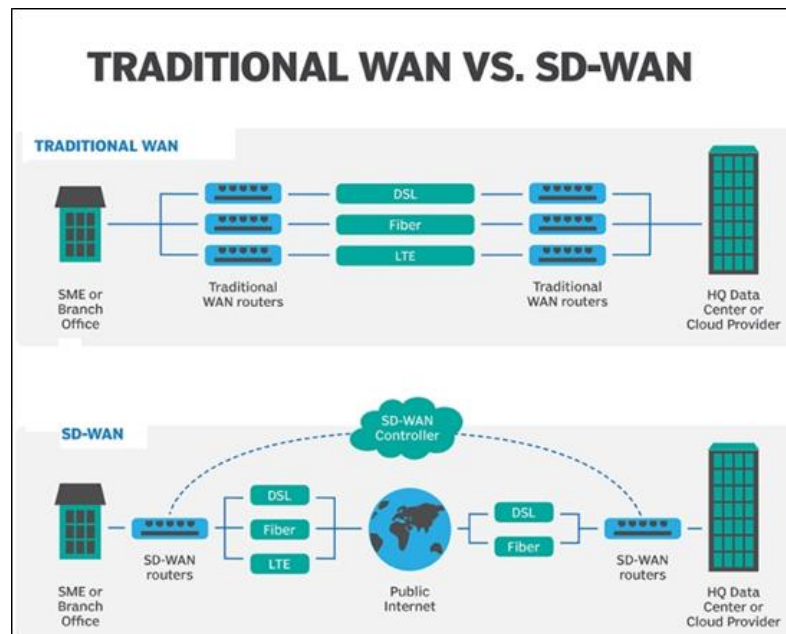
Para una red empresarial las configuraciones realizadas por el ISP no son de importancia media vez cumplan con las especificaciones del enlace contratado. Un enlace dedicado para el cliente es en la actualidad una virtualización ethernet facilitando la compatibilidad de protocolos.

7.4.2. WAN definida por software

López (2020) indica que las redes WAN definidas por software se superponen a una red ya existente, es decir SD-WAN es una red que utiliza tunelización para enrutar tráfico a través de otra red, se puede interpretar como

una red lógica trabajando sobre una red física como lo es Internet desde un controlador centralizado. (p. 15)

Figura 8. **Modelo SD-WAN**



Fuete: Exevi (2021). *SD-WAN*. Consultado el 28 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.exevi.com/flexibilidad-seguridad-y-precios-mas-bajos-tres-beneficios-de-las-redes-sd-wan-para-tu-organizacion/>

Como se puede apreciar en la imagen anterior, SD-WAN se auxilia de un controlador el cual esta centralizado para crear túneles a través de Internet, para garantizar la seguridad se encripta la información con algún algoritmo que dependerá de la tecnología del tipo de túnel utilizado en la solución. También permite crear políticas para controlar las rutas, tráfico, SLA, monitoreo de falla, etc. Toda esta información y configuración fluye desde el controlador hacia los nodos remotos, lo único que se debe garantizar es que los dispositivos de red remotos puedan establecer comunicación con el controlador.

7.5. Pequeña y mediana empresa

La micro, pequeña y mediana empresa (MIPYME) en América Latina representa un gran porcentaje de la fuente de ingresos de la economía de cualquier ciudad, esta contribuye generando empleos y en algunos casos representa un intercambio económico internacional mediante la exportación. La MIPYME representaba en 2009 más del 90 % de las empresas de la región. (CEPAL, 2009, p. 5)

Generalmente se clasifican las empresas tanto por el nivel de rentabilidad que generan como por el número de empleados que la componen. Las MIPYPME se encuentran clasificadas en el acuerdo gubernativo 2011-2015 el cual se resumen en la siguiente tabla según número empleados y ventas anuales.

Tabla IV. **Clasificación MIPYME**

Clasificación	Número de empleados	Ventas anuales en salarios mínimos mensuales actividades no agrícolas
Micro	1 a 10	1 a 190
Pequeña	11 a 80	191 a 3700
Mediana	81 a 200	3701 a 15420

Fuente: elaboración propia, con datos del Acuerdo Gubernativo 2011-2015.

La pequeña y mediana empresa tiene ciertas ventajas debido a su tamaño ya que son gestionadas de una manera simplificada y en la comunicación se eliminan ciertas barreras que se tienen en empresas con una mayor cantidad de empleados. El dueño de este tipo de empresas está por lo general, envuelto en todos los procesos del funcionamiento de la empresa; en algunas de estas incluso el dueño es el encargado de los diferentes departamentos que componen la empresa, por ejemplo, ventas, contabilidad, comunicación, IT, etc. Todas estas

características hacen que estas empresas no tengan departamentos especializados en cada área, por lo tanto, en algunas áreas el funcionamiento sea deficiente o inexistente.

El área informática y redes de computadoras es en muchos casos inexistente o gestionada de una manera deficiente, ya sea por desconocimiento o por el alto costo que significa su implementación. Por lo general, el sistema informático se reduce a la comunicación con clientes vía correo electrónico y al manejo de ciertas tareas de contabilidad e inventario en equipos de cómputo. La comunicación WAN de datos hacia las sucursales suele ser inexistente o implementada por empresas con un alto grado de ingresos dentro de la clasificación MIPYME.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Arquitectura de red empresariales

1.2. Arquitectura de red empresariales

1.2.1. Capa de acceso

1.2.2. Capa de distribución

1.2.3. Capa de núcleo

1.2.4. Gestión de red

1.3. Redes definidas por *software*

1.3.1. Plano de control y gestión

1.3.2. Plano de datos

1.3.3. Orquestador

1.4. Virtualización de red

1.5. Tecnologías de código abierto en redes

1.5.1. Fundación Linux

- 1.5.2. Open Network Fundation
 - 1.5.3. OpenDaylighth
 - 1.5.4. *OpenFlow*
 - 1.5.5. OpenStack
 - 1.6. Redes WAN
 - 1.6.1. WAN dedicada
 - 1.6.2. WAN definida por *software*
 - 1.7. Pequeña y mediana empresa
- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN
- 4. IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE LA SOLUCIÓN
- 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño metodológico

Según Hernández, Fernández y Batista (2014) en una investigación no experimental no se tiene incidencia alguna sobre las variables, se utilizan mayormente técnicas de observación. Se trabajará con base a un diseño no experimental debido a que no se tendrá un control ni manipulación de las variables estudiadas. Este se basará en la observación y análisis sin recurrir a ensayos para modificar el comportamiento de la red actual de la empresa, ni los diferentes procesos con que se administra el sistema informático.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) indican que un diseño transversal tiene como propósito describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. El diseño será transversal descriptivo ya que se analizará el estado actual de las variables, se describirá su comportamiento y su influencia en los procesos de la empresa estudiada.

9.2. Enfoque de la investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) el enfoque cualitativo se apoya en la recolección y análisis de datos para tener mayor precisión en las preguntas de investigación o generar más interrogantes cuando se está en interpretando la información. Se trabajará con un enfoque cualitativo ya que se describirán la situación actual y sobre la propuesta de cómo mejorar los procesos y administración de red para generar juicios que ayuden a concluir como esto puede mejorar la eficiencia de la empresa y su competitividad.

Estos mismos autores indican que, un enfoque cuantitativo utiliza la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías. En la parte cuantitativa se estudiará el costo de los sistemas de red actuales y los costos en los que se incurriría en la migración al nuevo paradigma de redes definidas por *software* y su influencia en la competitividad.

9.3. Población y muestra

La población son las personas encargadas de la administración de la red y el sistema informático, debido a que la población está compuesta por tres personas no se tiene necesidad de generar una muestra.

9.4. Técnicas de investigación

Según Paz (2017) las técnicas de investigación responden al cómo hacer y permiten la aplicación del método en el ámbito de estudio. La técnica de investigación será documental y observación. Los instrumentos para utilizar serán los siguientes:

- Fichas bibliográficas: Para documentar los datos importantes de la revisión bibliográfica y la obtenida mediante la observación.
- Cuestionarios: Para la información recabada directamente de la población.

9.5. Operativización de variables

Las variables para estudiar se toman en base los objetivos generales y específicos las cuales le dan coherencia a la investigación, también se definen

los indicadores y los instrumentos que se utilizan para trabajar con dichas variables.

Se presentan en la siguiente tabla el resumen de las variables, así como sus indicadores:

Tabla V. **Cuadro de variables e indicadores**

	Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicador	Instrumento
General	Proponer una arquitectura de red con SD-WAN como alternativa económica para interconectar sucursales de PYMES guatemaltecas	Reducción de costos, productividad, eficiencia.	Nominal, continua, continua		Observación directa, gráficos.
	Diseñar una arquitectura de red definida por <i>software</i> libre que pueda fácilmente ser adoptada por empresas pequeñas y medianas.	Herramientas de <i>software</i> libre, costo de enlaces de internet.	Nominal, continua.	Porcentaje del total	Observación directa, análisis de costos.
Específicos	Proponer un modelo de administración de red en la nube basado en tecnologías de <i>software</i> libre.	Virtualización, costos de virtualizar, modelos de administración.	Nominal, continua, nominal	Porcentaje del total	Observación directa, análisis de costos.
	Definir una arquitectura de comunicación SD-WAN entre sucursales.	Arquitectura WAN, costos de WAN, equipos requeridos	Nominal, continua, nominal		Observación directa, equipos de prueba, análisis.

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

9.6. Fases de la investigación

- Fase 1: revisión documental para la fase de antecedentes y marco teórico.
- Fase 2: realizar un estudio de cómo se encuentra el estado actual de la empresa seleccionada en cuanto a redes y gestión de redes, así como el costo de mantenimiento.
- Fase 3: enlistar las tecnologías que existen en el mercado para la implementación de las redes definidas por *software*, así como los costos.
- Fase 4: enlistar los diferentes tipos de virtualización y los requerimientos necesarios en cuanto a poder de procesamiento y almacenamiento para la implementación de la solución, cotizar los costos que ofrecen los diferentes proveedores.
- Fase 5: proponer equipos de red como solución para la implementación de una red WAN definida por *software*.
- Fase 6: proponer un modelo de administración de red basado en la nube.

9.7. Resultados esperados

Diagnóstico del estado actual de la red y análisis de los procedimientos de cómo se gestiona la información y la infraestructura de red.

Se espera obtener una perspectiva general de cómo la empresa maneja su sistema informático hacia sus sucursales, los procedimientos y la gestión, en

base a estos resultados, se propondrá una alternativa económica y eficiente que mejore los procesos de red y por lo tanto la competitividad de la empresa.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de datos tendrá un enfoque cualitativo ya que las variables a estudiar describen el funcionamiento actual de la red, así como los procesos humanos que se realizan para su administración y utilización. Por lo tanto, el análisis será descriptivo ya que se tomarán en cuenta datos históricos del funcionamiento del sistema de red informático. Se verificará indicadores de rendimiento y como puede el nuevo paradigma de redes definidas por *software* mejorar estos procesos.

En la primera fase, se analizará la información documental obtenida para determinar los diferentes modelos de red en los que se encuadra la situación actual de la empresa y los diferentes paradigmas existentes.

En la segunda fase, se analizará el estado actual de la red de la empresa, así como su sistema informático con base en la observación directa e indirecta, se tomarán notas en fichas y se encuadrará el sistema actual con algún paradigma de redes.

En la tercera fase, se enlistará los diferentes equipos de red, sistemas informáticos de gestión de *software* libre, enlaces de internet, así como los costos de instalación y mantenimiento. Esto se realizará mediante documentación en fichas de la información recabada, o mediante documentación de información solicitada a proveedores a través de canales electrónicos.

En la cuarta fase, se documentará con base en la información obtenida por parte de proveedores nacionales y extranjeros, los diferentes tipos de

virtualización, los costos de la adquisición de infraestructura en la nube. Esta información se obtendrá en base a información disponible en los portales web de las empresas, así como en base a información solicitada por canales electrónicos a las diferentes empresas consultadas.

En la cuarta fase, se realizará mediante observación directa las características actuales de los enlaces de internet de la empresa, tanto en la fábrica como en el punto de venta. También se determinará el ancho de banda y en base a cuestionario se evaluará la disponibilidad de los enlaces.

Con la información recabada en las fases anteriores, en la quinta fase se realizará un análisis comparativo del estado actual de la red y las mejoras que se lograrían con la implementación de las redes definidas por *software*, específicamente en la parte de SDWAN.

En la sexta fase, se propondrá un modelo de administración de red basado en la nube, esto en base a la información recopilada anteriormente. Esto se realizará mediante un análisis comparativo del modelo de administración actual y el modelo de administración basado en la nube.

11. CRONOGRAMA

En este capítulo se presentan las actividades cronológicamente del proceso que se llevara para la solución del problema planteado. Esta organizado en semanas y abarca un estimado de elaboración de mayo a agosto.

En la primera fase se realizará una investigación documental la cual abarcará un estimado de 11 días, tomando el tiempo del día en un estimado de 4 horas y trabajando 3 días a la semana.

En la segunda fase se realizará un estudio del estado actual de la red de la empresa, donde se evaluará tanto los equipos de red como los procesos que se realizan para la administración del equipo IT, con un tiempo estimado de 13 días.

En la tercera y cuarta fase se analizará las soluciones SDN y FNV que más se acoplen a la situación de la empresa, tomando en cuenta el volumen de información que manejan y los recursos de red que poseen, con un tiempo estimado de 13 días.

La fase 5 se diseñará la red WAN en base a los elementos de red seleccionados, se estima un tiempo de 6 días para esta fase.

Finalmente, en la fase se presentará la propuesta de la solución con un estimado de 23 días.

Figura 9. Cronograma

ACTIVIDAD	MES SEMANA	Mayo				Junio				Julio				Agosto			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Desarrollo del trabajo de graduación																	
Fase 1: Investigación documental																	
Investigación de antecedentes																	
Marco Teórico																	
Fase 2: Estudio actual de la empresa																	
Verificación del estado actual de la red																	
Encuesta a los administradores																	
Evaluación de resultados																	
Fase 3: Tecnologías SDN																	
Análisis de solución SDN para la empresa																	
Fase 4: Gestión y orquestación en la nube																	
Cotización de infraestructura en la nube																	
Propuesta de FNV																	
Fase 5: Equipos de RED SDWAN																	
Propuesta SDWAN acorde a la empresa																	
Fase 6: Propuesta de solución																	
Diseño de la solución																	
Análisis de resultados																	
Presentación de los beneficios de la solución																	
Redacción de conclusiones y recomendaciones																	
Presentación de informe final																	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

La investigación se financiará con recursos propios del investigador, se dividirá en recurso humanos y materiales, y la intervención del asesor de tesis. Dentro de los recursos físicos serán necesarios equipos que soporten *OpenFlow*, computadora portátil para simular un entorno de red con administración en la nube, también será necesario materiales para la documentación y transporte para el estudio de la empresa donde se realizará el estudio. El recurso humano estará integrado por el investigador y el asesor.

Tabla VI. Costo del estudio

Descripción	Tipo	Presupuesto
Posible servicio en la nube	Material	Q 1,000.00
Computadora Core i7	Material	Q 9,000.00
Oficina (Hojas, lapiceros, impresiones)	Material	Q 250.00
Transporte	Material	Q 800.00
Equipos de red <i>OpenFlow</i>	Material	Q 1,500.00
Tiempo del investigador	Humano	Q 3,000.00
Total, absorbido por el investigador		Q 14,550.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Alvarado, C. (2020) *Diseño de una arquitectura de red SDN/NFV para proveedores de internet* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
2. Arévalo, R. (2020). *Análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación de SDWAN considerando su eficiencia operacional frente al servicio de MPLS en la empresa Puntonet* (Tesis de maestría). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
3. Ballesteros, A. (2016). *Seguridad en redes definidas por software* (tesis de licenciatura). Instituto Universitario Aeronáutico, Argentina.
4. Código abierto en redes. (2021). *OpenNetworking*. Recuperado de <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/02/cs-of.pdf>
5. Controlador SDN. (2021). *OpenDaylight*. Recuperado de <https://www.opendaylight.org/about/platform-overview>
6. Cordero, C. (2017). *Diseño y Despliegue de Funciones de Red Virtualizadas (NFV) usando Redes Definidas por Software (SDN) dentro de una infraestructura Virtual, aplicando balanceo de carga y seguridad distribuida en IPv6* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

7. López, J. (2020). *Emulación de una red SD-WAN (Software-defined wide area network) utilizando tecnología fortinet y el software GNS3* (Tesis de licenciatura). Escuela politécnica nacional, Ecuador.
8. Maini, E. (2015) *Orchestration of Logical resources in software defined infrastructures* (tesis de licenciatura). Universidad de Napoles Federico II, Italia.
9. Molero, L. (2010). *Planificación y Gestión de Red*. Venezuela. Universidad Dr. Rafael Bellosó Chacín.
10. Moreno, A. (2018) *Desarrollo de solución SD-WAN basada en SDN* (tesis de licenciatura). Universidad Carlos III de Madrid, España.
11. Núñez, A. (2015). *Red Definida por software (SDN) en base a una infraestructura de software de libre distribución* (Tesis de licenciatura). Universidad técnica de Ambato, Ecuador.
12. Odom, W. (2020). *CCNA 200-301 official Cert Guide Volume 1*. New Jersey. Pearson.
13. Odom, W. (2020). *CCNA 200-301 official Cert Guide Volume 2*. New Jersey. Pearson.
14. Orquestador SDN. (2021). *OpenStack*. Recuperado de <https://www.openstack.org/software/>

15. Rodríguez, E. (2020). *Diseño y simulación de una red definida por software para la implementación de un laboratorio avanzado de datos para la EP de Telecomunicaciones de la Facultad de ingeniería electrónica y eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
16. Rupérez, J. (2021) *Seguridad en redes definidas por software (SDN)* (tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Valencia, España.
17. Santizo, N. (2011). *La importancia de las pequeñas y medianas empresas (PYME'S) en el sector vestuario y textil de Guatemala frente al DR-CAFTA* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
18. Suarez, D. (2020) *Redes WAN definidas por software SD-WAN* (tesis de licenciatura). Universidad Oberta de Catalunya, España.
19. Tanenbaum, A. (2003). *Redes de computadoras*. México. Pearson.
20. Viceministerio de Desarrollo de la Microempresa, pequeña y mediana empresa (2018). *Informe de Situación y Evolución del Sector MIPYME de Guatemala 2015-2017*. Guatemala: Zarazúa, G.
21. Virtualización de redes. (2021). Oracle. Recuperado de https://docs.oracle.com/cd/E26921_01/html/E25833/docinfo.html