PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE ESMERALDAS

CARRERA:

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TEMA DE INVESTIGACIÓN:

INTEGRACIÓN DE REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE (SD-WAN) PARA GARANTIZAR LOS SERVICIOS EMPRESARIALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE COMUNICACIÓN DE DATOS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

AUTOR:

GEORGE JHONNY VERA CERVANTES

ASESOR:

JUAN CASIERRA CAVADA (Mgt)

ESMERALDAS, 2022

AUTORÍA

Yo, Vera Cervantes George Jhonny con número de cédula de identidad 0803090075 manifiesto que mediante la presente investigación sobre el tema "INTEGRACIÓN DE REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE (SD-WAN) PARA GARANTIZAR LOS SERVICIOS EMPRESARIALES" los resultados obtenidos como tesis de grado, previo a la obtención del título de "INGENIERO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN" son de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las fuentes de información consultadas, realizando las citas correspondientes y los resultados alcanzados son totalmente personales, únicos y legítimos. Al mismo tiempo declaro que todo el contenido incluyendo resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y otros efectos legales y académicos que se desglosan, son y serán exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

Vera Cervantes George Jhonny

0803090075

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

RESUMEN

El aumento de los costos, el personal de soporte administrativo, el aumento de los precios del software heredado y la proliferación de aplicaciones de transmisión debido a la guerra de precios de la nube están obligando a muchos administradores a buscar nuevas soluciones.

Las empresas que ponen sus servicios a disposición de un gran número de usuarios necesitan proporcionar un entorno en el que los empleados puedan trabajar con más entusiasmo sin interrupciones que causen problemas en la producción.

La integración en las empresas de las redes definidas por software (SD-WAN), busca mejorar la calidad de servicio entre la empresa que la brinda y los usuarios que dependen de aquellos.

En la actualidad es indispensable no disponer de tecnologías, a nivel de comunicaciones y redes, tales como redes definidas por software de área amplia, nos ayuda en el proceso mencionado en líneas anteriores, es decir, en la mejor administración y funcionamiento de una SD-WAN abordando los actuales desafíos de la TI.

Para la realización del presente proyecto se abordó la teoría elemental sobre Redes, SD-WAN y sus componentes, conceptos, arquitectura, beneficios, entre otros y se explica el programa GNS3 y la tecnología usada que es Fortinet.

Luego se analizó el correcto funcionamiento de estas redes. Definiendo la sección de políticas, redes privadas, tráfico, seguridad, ente otras. Se comprueba los resultados de la simulación mediante pruebas operativas de monitoreo.

Se detallo las conclusiones que se obtuvieron después de desarrollar el proyecto de titulación, tal como se enseña las recomendaciones necesarias para trabajos a futuro con estas herramientas.

ABSTRACT

Rising costs, support staff management, rising legacy software prices and more streaming applications due to the cloud price war are forcing many administrators to look for new solutions.

Companies that serve large numbers of users must have an environment that allows employees to work more meticulously without having glitches that cause problems in their production.

The integration of software-defined networks (SD-WAN) in companies seeks to improve the quality of service between the company that provides it and the users that depend on it.

Nowadays, the availability of more current technologies, at the level of communications and networks, such as wide area software-defined networks, helps us in the process mentioned in previous lines, that is, in the better management and operation of a SD-WAN addressing the current challenges of IT.

For the realization of this project, the elementary theory about networks, SD-WAN and its components, concepts, architecture, benefits, among others, was approached and the GNS3 program and the technology used, which is Fortinet, were explained.

Then the operation of SD-WAN was analyzed. Defining policies, private networks, traffic, security, among others. The results of the simulation are verified through operational monitoring tests.

The conclusions obtained with the development of this degree project are presented, as well as the necessary recommendations for future work with these tools.

INTRODUCCIÓN

Presentación del problema

SD-WAN es la integración de tecnología de Red definida por Software y WAN. En términos generales, también se puede explicar que SD-WAN se referencia como la aplicación de redes definidas por software en WAN [1].

En la actualidad, las empresas, organizaciones e instituciones, en sus departamentos de TI se encuentran condicionados para poder desarrollar y producir más con menos; es decir, que se pueda administrar más sitios y clientes con una estimación limitada y un equipo con menos capacidades, todo sin disminuir tanto la confiabilidad y su seguridad [2].

La modernización de SD-WAN es más que simplemente reemplazar hardware y software heredados, es una solución comercial. Las empresas están adoptando estas soluciones porque han transformado la forma en que los usuarios comerciales usan la tecnología. La adopción de la nube, la consolidación de dispositivos y la reducción de los costos de conectividad son los principales impulsores de la evolución de la infraestructura [3].

Teniendo en consideración el crecimiento de los costos de las conectividades WAN en las empresas, el manejo del personal de asistencia con el de soporte, mezclados con el aumento de las aplicaciones de transmisión de datos que requieren gran cantidad de ancho de banda y servicios con un incremento de los precios de los softwares ya utilizados y la competencia de los precios en la nube [4], está obligando a que muchos administradores de red busquen nuevas soluciones que otorguen ese beneficio a las empresas.

La experiencia de usuario mejorada y el aumento de la productividad a menudo impulsan a los líderes tecnológicos a iniciar proyectos de transformación de WAN [3]. La solución SD-WAN utiliza sucursales con múltiples puntos de conexión a Internet.

Planteamiento del problema

Las empresas y organizaciones no están ajenas a los problemas sobre las infraestructuras de redes, la alta demanda con la que se enfrenta por los servicios que cada vez requieren de más conectividad y a su vez de mayor tráfico, debido que con las antiguas infraestructuras no prestarían sus mejores prestaciones.

El costo de las tecnologías está elevando los precios de su uso y mantenimiento, debido a la mayor demanda de desarrollo de nuevas herramientas utilizadas por los departamentos de TI para operar las redes empresariales. Al ver la problemática de los costos las empresas buscan las mejores soluciones para seguir funcionando sin interrumpir el tiempo de los usuarios que dependen de sus servicios. Es más factible el incrementar las prestaciones de los equipos y componentes permitiendo una flexibilidad en el campo financiero de su ejecución.

Las infraestructuras WAN tienen por inconveniente que, por lo general, presenta una baja utilización de recursos alrededor de 30% a 40% [5]. Y esa pérdida del 60% de la red WAN debido a la incapacidad para gestionar el uso de los recursos, no es compatible con el uso de las infraestructuras modernas que requieren de más recursos [5].

Al respecto, de que los servicios en la nube ayudan con los costos en las infraestructuras, en total los gatos en los departamentos de TI, para las empresas ha crecido un 13% en 2018, según Synergy Research Group [6].

A nivel global estos costos no disminuyeron, por ellos las empresas proporcionaron un cambio necesario, considerando las nuevas infraestructuras de redes para evitar problemas que puede darle fallas en su rendimiento y elevar los costos.

Según datos de IDC [7], casi dos tercios de los encuestados indicaron que probablemente se cambien a SD-WAN, eso da a entender que el cambio se dará y que con el paso del tiempo toda empresa contará con nueva infraestructura.

Según Alonso [8], SD-WAN vendría a ser la solución para la reducción de costes frente a las redes tradicionales de los operadores pudiéndose alcanzar el abaratamiento hasta un 48%.

Justificación

El desarrollo de este proyecto es importante debido a que va a permitir mejorar el rendimiento de las redes actuales, las cuales se basan en protocolos de enrutamiento estáticos o dinámicos, lo cual nos aportaran nuevos conceptos que nos permitan garantizar la disponibilidad de servicios para las medianas o grandes empresas.

En la actualidad todas las empresas que brindan su servicio a gran cantidad de usuarios deben contar con un ambiente que permita a los empleados trabajar de manera más meticulosa sin tener fallas que originen problemas en su producción.

Con el estudio de las redes definidas por software se podrá crear soluciones para las limitaciones que se presentan.

La mayoría de las infraestructuras de redes WAN no garantizan que el envío de datos atraviesen la red con una liquidez cercana al 100 % y una seguridad crítica. Debido al poco ancho de banda y la escasez de visibilidad de las aplicaciones, los usuarios o las empresas que utilizan estos servicios de Internet pueden experimentar comunicaciones lentas o perdidas de servicios, lo que resulta en una experiencia de usuario deficiente y pérdida de tiempo.

En el aspecto social, la integración en las empresas de las redes definidas por software (SD-WAN), busca mejorar la calidad de servicio entre la empresa que la brinda y los usuarios que dependen de aquellos. En el aspecto económico, la integración dará un gran ahorro de costos.

Esta investigación tiene una utilidad metodológica, ya que podrá realizarse futuras investigaciones con metodologías similares, de manera que propicia para análisis, comparaciones entre periodos temporales.

Este estudio pretende contribuir a las investigaciones que se realicen para las empresas sobre la importancia de la integración del SD-WAN, como un elemento esencial para mejorar los procesos de atención y servicios a los usuarios, como su productividad, calidad, eficacia y eficiencia.

OBJETIVOS

General

Analizar la integración de las redes de áreas amplias definidas por software (SD-WAN) con el desarrollo de un prototipo orientado a contribuir con la continuidad de negocios de TI.

Específicos

a) Examinar las bases teóricas de Redes Definidas por Software (SD-WAN).

b) Identificar los procesos necesarios para la integración de SD-WAN en los servicios empresariales.

c) Desarrollar un prototipo orientado al funcionamiento de una infraestructura de redes definidas por software.

d) Detallar los principales resultados obtenidos en el análisis desarrollado en la investigación y prototipo de la infraestructura SD-WAN.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Bases teóricas-conceptuales

En este capítulo se especifican las bases teóricas conceptuales que están relacionadas con el tema de estudio, el cual es, las redes informáticas, red de área amplia definida por software y servicios empresariales. A partir de las descripciones de estas bases teóricas se pretende que se entiendan los conceptos para crear una red definida por software.

1.1.1. Redes Informáticas

Una red es la interconexión entre dos o más equipos que se comunican entre sí para transmitir o recibir información en distintos instantes de tiempo además de compartir recursos [9].

1.1.1.1. Arquitectura

En cuanto a la arquitectura de red es el medio más efectivo en cuanto a costos para desarrollar e implementar un conjunto coordinado de productos que se puedan interconectar. La arquitectura es el "plan" con el que se conectan los protocolos y otros programas de software. Esto es benéfico tanto para los usuarios de la red como para los proveedores de hardware y software [9].

Entre las características de una arquitectura de red, se tiene:

a) La separación de funciones. Partiendo de que las redes separan los usuarios y los productos ofertados que evolucionan por la naturaleza de la tecnología con el tipo, las funciones mejoradas se puedan adaptan a la última, a través de la arquitectura de red se concibe el sistema de manera modular, para evitar perturbaciones por los cambios mínimos que mantengan una alta disponibilidad [9].

b) Conectividad amplia. Por definición, la red debe proporcionar una conectividad óptima entre cualquier número de nodos, dado el nivel de seguridad requerido [9].

c) Recursos compartidos. Por medio de las arquitecturas de red puede compartirse recursos tales como impresoras, bases de datos, unidades de disco, haciendo que la operatividad de la red sea económica y eficiente [9].

d) Administración de la red. En la arquitectura se establece la permisología correspondiente para que el usuario defina, opere, cambie, proteja y ejecute mantenimientos en dicha red [9].

e) Facilidad de uso. La arquitectura de red permite a los diseñadores centrarse en las interfaces clave de la red y hacerlas fáciles de usar [9].

f) Administración de datos. Se considera este aspecto unido a la necesidad de interconectar los diferentes sistemas de administración de base de datos, de unidades de almacenamiento y otros servicios [9].

g) Interfaces. Se define las interfaces de persona a red, de persona y de programa a programa. Así la arquitectura combina los protocolos apropiados de software para generar una red funcional [9].

h) Aplicaciones. Aquí son separadas las funciones que se requieren para operar la red de acuerdo con las aplicaciones comerciales de la empresa [9].

1.1.1.2. Tipos

Entre los distintos tipos de Redes, se encuentran los siguientes, diferenciados lógicamente por el tamaño y la cantidad de terminales que abarcan:

a) LAN: Local Área Network o Red de Área Local, que se trata de redes pequeñas (hogareñas) en donde cada equipo está conectado al resto [9].

b) WAN: Wide Área Network o Red de Área Extensa, en este caso las redes se dan entre países enteros o inclusive pueden alcanzar una extensión continental [9]. La arquitectura con la que se encuentran las redes WAN son direccionadas solamente a empresas, sucursales y centro de datos [10].

c) MAN: Red de Área Metropolitana es un tipo de red que posee un alcance mucho mayor, cubriendo una sola ciudad o unas pocas poblaciones específicas [9].

Además, según el medio físico utilizado se catalogan en:

a) Redes alámbricas: se necesita cables para compartir datos [9].

b) Redes inalámbricas: Se envían ondas electromagnéticas para enviar y recibir los paquetes de información [9].

c) Redes mixtas: El nombre indica que es una red combinada que trata de que unas secciones son áreas comunicadas por cable y otras comunicadas de manera inalámbrica [9].

1.1.1.3. CIA TRIAD

Cuando se habla de redes, es importante recordar que la seguridad es un punto muy importante, ya que la información procesada garantiza la confidencialidad, integridad y disponibilidad. Estos son activos de información valiosos que pueden ser estratégicos, protegidos, sensibles o patentados [11].

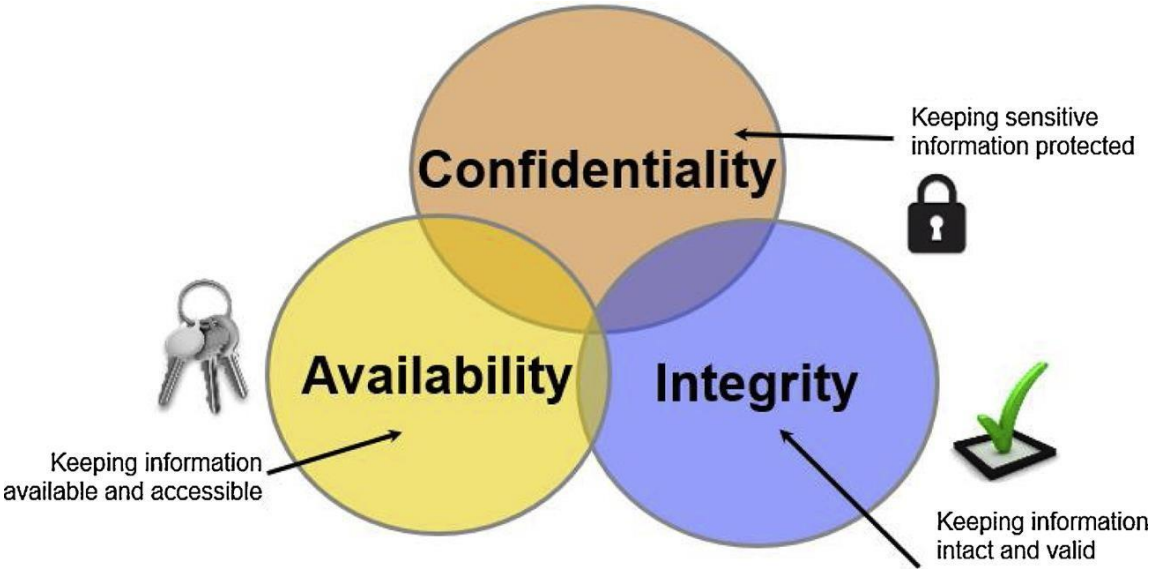

Figura 1 The CIA Triad [12].

Esta explicado en la Figura 1, esto a menudo se denomina la "Tríada CIA". Los activos de información pueden incluir datos, información, hardware, software u otros recursos de información [11].

1.1.2. Red de Área Amplia Definida por Software (SD-WAN)

1.1.2.1. Definición

La red de área amplia definida por software (SD-WAN), vendría a ser una aplicación que describe el uso y aplicación de la tecnología SDN a las conexiones WAN para utilizarse en grandes redes corporativas [13].

El uso de este software da una mejora de la programabilidad en el plano de datos y una buena escalabilidad.

La función principal de este tipo de red es que no depende de una gran cantidad de dispositivos físicos. Esto aumenta la flexibilidad y la eficiencia de la gestión, y enruta dinámicamente el tráfico a través de enlaces públicos y privados.

1.1.2.2. Arquitectura

La visión principal de SD-WAN es simplificar la red, optimizar la gestión de la red de área amplia e introducir innovación y flexibilidad en comparación con las arquitecturas de red de área amplia heredadas [4].

A continuación, se ofrece una descripción general de las arquitecturas lógicas y físicas de la red de área amplia definida por software:

Arquitectura Lógica

Como se muestra en la figura 2, hay tres capas de abajo hacia arriba en la red de área amplia definida por software, incluida la capa de datos, la capa de control y la capa de aplicación [13], [14]. Las funciones de la capa de datos se pueden clasificar en virtualización de ancho de banda y reenvío de datos. Generalmente, hay varios tipos de redes en una red de área amplia, por ejemplo, tejido de conmutación de etiquetas de protocolo múltiple, Internet, 4G, etc [14].

Para utilizar completamente los recursos de ancho de banda, la virtualización de ancho de banda combina diferentes enlaces de red que sirven a una ubicación en un grupo de recursos disponibles para todas las aplicaciones y servicios [14].

El reenvío de datos consiste en un conjunto distribuido de elementos de red de reenvío (principalmente conmutadores) encargados de reenviar paquetes utilizando el ancho de banda proporcionado por la virtualización del ancho de banda [13].

Ambos reciben comandos del controlador de red de capa superior a través de protocolos de interfaz como OpenFlow. Existen funciones de red en la capa de control y estas se implementan y gestionan de forma independiente. Al desacoplarlas habilitan la red de los operadores para desarrollar, modificar, depurar y eliminar arbitrariamente uno de ellos a bajo costo sin afectar a los demás. Además de trabajar de forma independiente, las funciones de red se pueden conectar o encadenar para crear múltiples servicios y aumentar la flexibilidad de la red de área amplia definida por software [14].

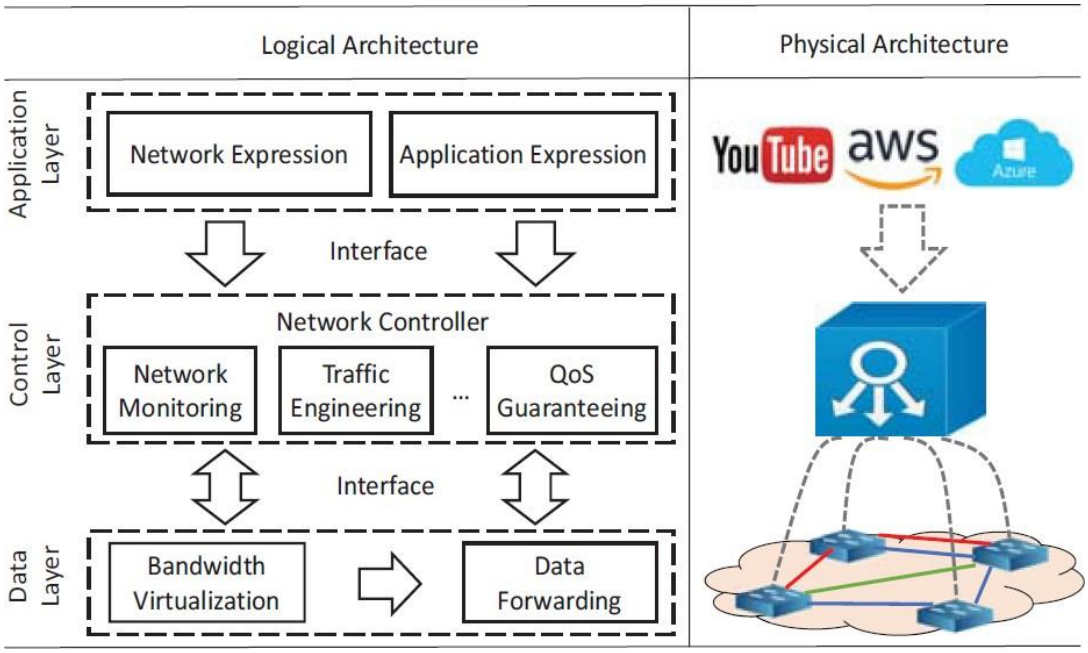

Figura 2 Arquitectura Lógica y Física de SD-WAN [14].

Arquitectura Física

La arquitectura física de la red de área amplia definida por software está en el lado derecho de la Figura 2. En la capa de datos, hay un conjunto de conmutadores SDN interconectados entre sí por enlaces físicos [13].

Un controlador de red está a cargo de estos dispositivos. Normalmente, el controlador de red es un servidor o un clúster, según el tamaño y la complejidad de la red [14].

El controlador de red carga varias funciones de red. En la parte superior del controlador de red están las aplicaciones específicas. Los desarrolladores de aplicaciones y los proveedores de red pueden expresar sus requisitos al controlador de red, y el controlador de red los transformará en políticas y configuraciones compatibles [14].

Generalmente, hay más de un controlador de red distribuido en diferentes sitios, con uno seleccionado como controlador maestro y otros como controladores de respaldo. Cuando el controlador maestro falla, uno de los controladores de respaldo se hará cargo de inmediato [13].

1.1.2.3. Características

La red de área amplia definida por software permite a las empresas tener diferentes tipos de servicios y de conexiones como datos, internet. Si se pierde la conexión a la plataforma de control a los servicios sin ningún inconveniente.

Se tiene una administración centralizada y mediante software, esto permite que los problemas se resuelvan de una manera más rápida y sencilla [15].

1.1.2.4. Funcionamiento

Al trabajar con SD-WAN el funcionamiento de la tecnología crece a medida que los dispositivos vayan en aumento y las aplicaciones se vuelven más intensas en el aspecto de bando de ancha.

Debido a esto las empresas se ven obligadas a tener más gastos para cumplir con la demanda. Viendo a futuro, las empresas distribuidas tendrán que estar con una red de área amplia definida por software, que utiliza enlaces de productos básicos y permite gestionar y controlar de forma inteligente la conectividad entre las agencias. Sin embargo, con sus beneficios, la tecnología SD-WAN también trae muchos desafíos, como la falta de seguridad, el bajo rendimiento y la complejidad [15].

Esta nueva manera de trabajar con SD-WAN permite no perder la confiabilidad y seguridad al estar conectados de manera que en un caso es útil para simplificar el despliegue y la gestión de la conectividad entre sedes y oficinas remotas [14].

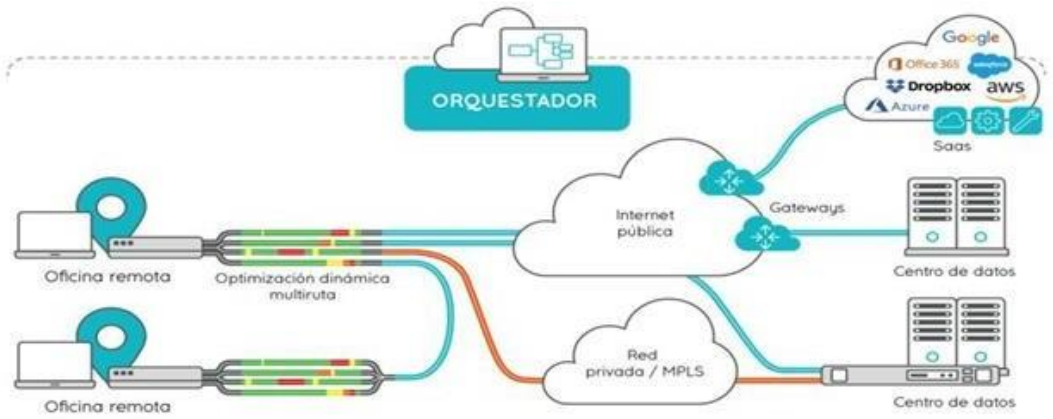

Figura 3 Funcionamiento SD-WAN [14].

Como se puede observar en la Figura 3 la tecnología SD-WAN da a entender que el objetivo principal es dar la garantía de que se podrá trabajar de la mejor manera.

1.1.2.5. MPLS

Las redes definidas por software han surgido para una evolución de respuesta a la tecnología MPLS. Tras una inspección más cercana, puede parecer que estas nuevas redes realiza las acciones similares a MPLS. Sin embargo, se ofrece de forma independiente y se aplica a una gama más amplia de escenarios al proporcionar conectividad privada segura que es compatible con la nube. MPLS, por otro lado, es administrado por una copia de seguridad independiente, mientras que SD-WAN integra la red troncal que administra [16].

1.1.2.6. Beneficios

Los ejecutivos de TI recurren a las redes de área amplia definida por software para obtener una conectividad rápida y fiable con múltiples nubes y agencias.

Mayor flexibilidad y agilidad: SD-WAN separa el control de los servicios de red del transporte y esto permite que internet esté disponible en una región determinada sin limitarse a una cobertura proporcionada [15].

Perceptibilidad centralizada: Esto brinda a los minoristas una vista centralizada de su entorno administrado desde un controlador central, asegurando que todos puedan verlo [17].

Mejorar el rendimiento de la red: Los consumidores exigen un mejor rendimiento, por lo que es fundamental minimizar la latencia y aumentar la visibilidad de la red [17].

Un beneficio clave de las redes SD-WAN es la capacidad de proporcionar servicios de red WAN a múltiples nubes públicas y de administrarse fácilmente a través de un único panel de administración centralizado. Además, puede recibir informes detallados sobre el rendimiento de la aplicación y la red WAN de forma periódica y realizar un seguimiento del uso del ancho de banda [16].

SD-WAN se puede usar en cualquier conexión WAN como Internet de banda ancha, LTE, MPLS [18]. La necesidad de un balanceador de enlaces es optimizar y administrar el flujo de tráfico en los enlaces. Utiliza múltiples enlaces de conectividad para distribuir el tráfico a través de la WAN, como se muestra en la Figura 4 [18].

Failover: En caso de falla de un enlace, el algoritmo de balances supera este problema al controlar el flujo de tráfico y redirigir el tráfico a la conexión adecuada que pueda manejar las necesidades de una aplicación en particular. Esto se hace automáticamente y reduce el tiempo que toma este proceso [18].

Equilibrio de carga dinámico: El algoritmo de equilibrio de enlace SD-WAN supervisa el equilibrio de carga durante la ejecución. Aquí, la carga de trabajo se distribuye en tiempo de ejecución [19]. Por lo tanto, ayuda a disminuir los retrasos en la comunicación y el tiempo de ejecución [20].

Priorización de aplicaciones: el equilibrio del enlace SD-WAN incluye la función de priorización, que es más importante [18]. Por ejemplo, si la voz y un mensaje llegaron a la vez, la voz tendrá mayor prioridad.

Utilización del ancho de banda: la ruta/enlace correcto para la aplicación correcta mejorará la utilización del ancho de banda [18].

Aprovisionamiento sin contacto: la potencia de automatización de SD-WAN brinda la posibilidad de actualizar la configuración. No se necesita soporte manual para TI [21].

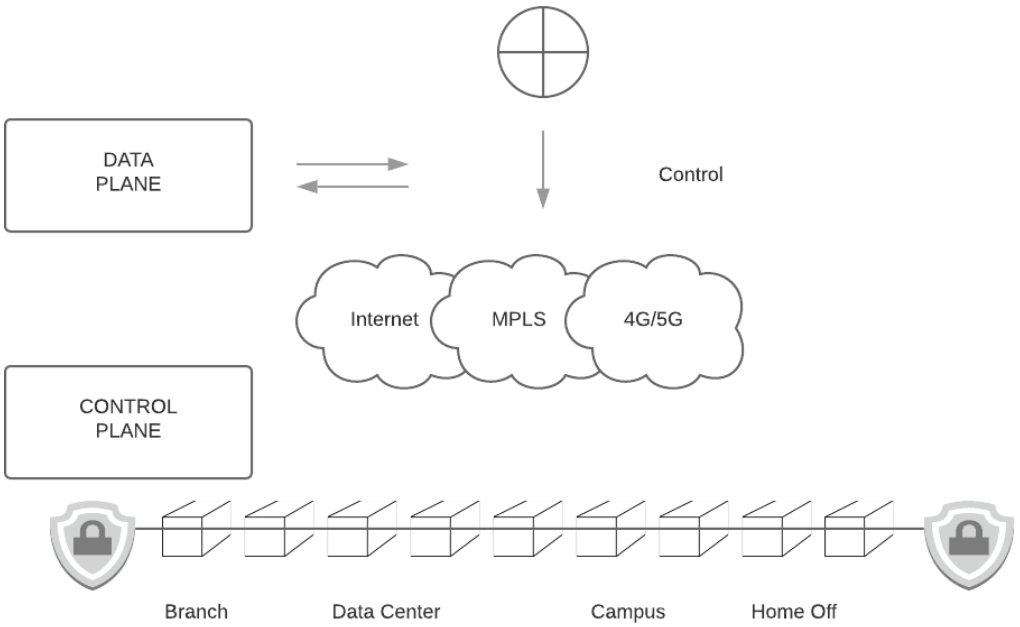

Figura 4 Múltiple Enlace de Comunicación [18].

1.1.2.7. Principales proveedores de SD-WAN

En el año 2015, el despliegue temprano de SD-WAN supuso alrededor de 225 millones de dólares, el IDC (International Data Corporation) predijo sobre las oportunidades que generará este mercado van a alcanzar alrededor de 322 millones de dólares entre 2018 y 2022, y un crecimiento sostenible del 60% entre 2016 y 2022 [22].

Según una encuesta realizada por Barracuda Networks [23], el proceso de adopción de SD-WAN se ha traducido en distintos logros. El 45% de las empresas encuestadas que han adoptado dicha tecnología refieren una mejora en la seguridad, flexibilidad y agilidad de la red. Entre el 40 y el 42% han visto favorecida la conectividad y el desempeño de las aplicaciones y detectan una reducción en el gasto general y apenas un 1% dice no notar ningún efecto [23].

Según IHS Markit [24], una empresa de medios e investigación que realiza un seguimiento de los ingresos de los proveedores de SD-WAN, ha publicado su lista de enero de 2018 de los ingresos de esos proveedores para el tercer trimestre de 2017. Dicha lista se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1 Lideres SD-WAN a nivel mundial [24].

Posicionamiento	**Proveedor**	**Ingreso tercer trimestre 2017 (millones de dólares)**
1	VeloCloud	26
2	Aryaka	21.3
3	Silver Peak	14.1
4	Viptela	9.5
5	InfoVista	4.4
6	Citrix	4.4
7	Talari	4.1
8	TELoIP	3.9
9	FatPipe	3.8
10	Cisco	3.1
11	Huawei	2.8
12	CloudGenix	2.5
13	Riverbed	1.7
14	ZTE	0.6

Otro estudio de mercado del informe de Gartner de 2019 sobre SD-WAN muestra que el crecimiento del mercado latinoamericano se está acelerando en el enfoque de servicio, es decir, la gestión conjunta de servicios [25]. En este estudio se mostraron los principales competidores del mercado y se evaluaron las categorías de:

- Facilidad de uso.
- Rendimiento de aplicaciones.
- Seguridad
- Precios
- Modelos de precios
- Soporte para cargas de trabajo en la nube.

A partir de las categorías evaluadas se le asigna un puntaje y con base en este y la experiencia de una población de clientes implementados se visualiza en la Figura 5:

Figura 5 Cuadrante Mágico de Gartner [26].

1.1.3. Fortinet SD-WAN

Esta es una función integrada en el sistema operativo que autoriza al firewall de FortiGate que simplifique las operaciones, elija la mejor ruta para dar paso al tráfico de paquetes a su destino, proporcione múltiples conexiones para los clientes y se beneficie de la red. Selecciona automáticamente alternativas más útiles. Conecta del punto A al punto B, aumenta la prioridad y la diferenciación, considerando la aplicación. Aplicación de QoS, redes superpuestas y seguridad [27].

1.1.3.1. Arquitectura Fortinet SD WAN

El desenlace de Fortinet SD-WAN propone una arquitectura de red forma escalable y rentable que aprovecha todas las funciones primordiales de SD-WAN entre clouds y permite a los usuarios crear una infraestructura de red de nube a nube segura sin

interrupciones y de alta velocidad [3]. Algunos componentes de la arquitectura segura se pueden observar en la Figura 6.

1.1.3.2. Características FortiGate SD WAN

Todas las características presentadas se pueden observar de una forma detallada en la Figura 6. Se puede encontrar todos los componentes que nos ofrece FortiGate SD-WAN para darle el mejor uso para la empresa en la que se trabaje.

Reconocimiento de Aplicaciones

Consolida una base de datos que identifica un aproximado de más de 3000 aplicaciones desde el momento en que se envía el primer paquete. Esto brinda a los clientes una vista completa de las aplicaciones en uso en su organización, lo que les permite tomar decisiones clave al crear políticas [3], [27].

Inteligencia de Rutas Múltiples

Esta inteligencia de rutas tiene la capacidad de brindar información de rutas WAN, tales como: inestabilidad, latencia y pérdida de paquetes. En base a esto, la tecnología de rutas múltiples toma decisiones y elige dinámicamente la mejor conexión para transportar el tráfico de cada aplicación sin afectar a los usuarios [3], [27].

Ancho de Banda Múltiple

Al ser independiente del envío, soporta varias conexiones de ancho de banda como Internet, MPLS, 3G/4G y VPN, esto mejora aún más la resiliencia y la rentabilidad, evitando caídas y degradación del rendimiento [3], [27].

Monitoreo Simplificado

Ya sea en las instalaciones o en la nube, el producto FortiManager proporciona un monitoreo ultra fácil, lo que le permite ver, administrar, configurar y actualizar de manera centralizada los dispositivos FortiGate listos para SD-WAN implementados en cualquier lugar. Incluye visualizaciones bastante intuitivas que le permiten monitorear fácilmente sus topologías de red físicas y lógicas [3], [27].

Figura 6 Componentes de SD-WAN de Fortinet [27].

1.1.3.3. SD-WAN vs MPLS

A continuación, comparamos SD-WAN y MPLS, las tecnologías WAN más utilizadas en los últimos años. Tabla 2 muestra las ventajas de estas tecnologías.

Tabla 2 Beneficios de SD-WAN y MPLS [28]

SD-WAN	**MPLS**
Precios más bajos	Confiabilidad o Fiabilidad
Adaptación a la Nube	Alto nivel de QoS
Escalabilidad	Escalabilidad

Se analizan los beneficios en términos de costo y varían según el tipo de implementación. Como, por ejemplo, si la red SD-WAN no está administrada, los costos operativos se reducen significativamente.

La personalización del cloud es una ventaja que MPLS no puede ofrecer y es esencial para las organizaciones que necesitan el acceso de manera inmediata a las aplicaciones comerciales.

Por lo tanto, este nuevo software para redes WAN elimina las limitaciones de ancho de banda aprovechando la conectividad a Internet y permitiendo a los clientes actualizar sus suscripciones a Internet según sea necesario. SD-WAN facilita mucho la administración de la red al permitirle controlar toda su red WAN desde una interfaz gráfica simple.

1.1.3.4. Desventajas de la SD-WAN

Este nuevo tipo de red tiene fortalezas y debilidades, y es importante conocerlas para fortalecer las áreas de debilidad y maximizar el rendimiento. A continuación, se puntualizan las siguientes desventajas:

- Gestión e implementación, es decir, son requisitos fundamentales contar con personal de TI que planifique, diseñe y brinde soluciones [29].

- Estos sistemas no están completamente inmunes al rendimiento lento, dado que existe posibilidades de pérdidas en el envío de paquetes al depender de conectividad pública a Internet [29].

1.1.3.5. Análisis de seguridad en la SD-WAN

Esta solución reemplaza las redes existentes basadas en MPLS, que actualmente se considera más confiable y segura. SD-WAN, por otro lado, utiliza la infraestructura pública a internet, que no cuenta con la suficiente seguridad para transportar datos. Esta nueva solución utiliza tecnologías modernas como SDN y encapsulación que actualmente no ofrecen la estabilidad y seguridad de MPLS.

Un problema que se presenta cuando se tiene un controlador centralizado, un único punto de vulnerabilidad ante ataque o falla, que afecta a toda la red. Al considerar estos factores, se analiza la solución SD-WAN desde un plano de seguridad que pueda identificar áreas de vulnerabilidad a los ataques. Esto es para sugerir contramedidas contra futuros ataques. Uno de ellos es el uso de la tecnología FORTINET, que nos diferencia de otros proveedores en materia de seguridad.

1.1.3.6. Graphical Network Simulator (GNS3)

Esta es una herramienta ampliamente trabajada por ingenieros de redes para emular, configurar, probar y solucionar problemas de redes virtuales y reales. Irónicamente, aunque el acrónimo en su nombre llama al software un simulador, este admite dispositivos de red emulados y simulados [30]. El software se lo puede conseguir desde la página oficial del programa y en esta se puede encontrar muchas secciones como la Comunidad de GNS3 donde existe muchos usuarios compartiendo sus trabajos, la

Documentación oficial del software, un Marketplace, etc. En la Figura 7 podemos observar toda esta información.

GNS3 originalmente solo emulaba dispositivos CISCO a través de un software llamado Dynamips [30]. En la actualidad, ha evolucionado a un punto que admite diferentes dispositivos de múltiples proveedores de red.

Es un programa Open Source, que se utiliza para emular varios sistemas operativos en un entorno virtual y está estrechamente vinculado con:

- Dynamips: es un emulador de dispositivos CISCO, es decir proporciona las ISO de estos equipos directamente en los enrutadores emulados en el programa [30].
- Qemu: es una plataforma de virtualización y emulación de hardware de código abierto [30].
- VirtualBox y VMware: softwares de virtualización [30].
- Wireshark: software que analiza protocolos de red [30].

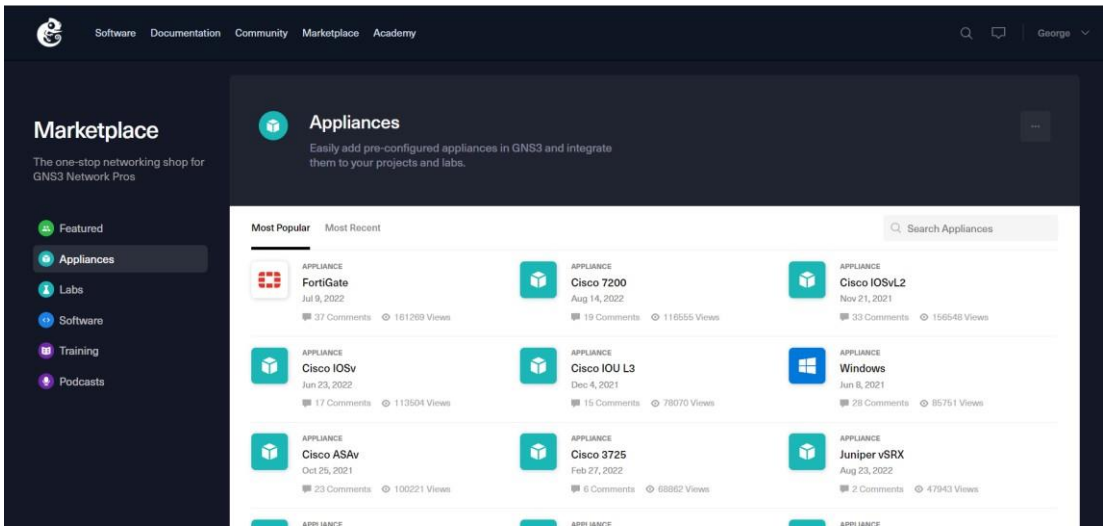

Figura 7 Página Oficial de GNS3[31]

1.1.4. Servicios Empresariales

Hoy en día, todos los proveedores de servicios se enfrentan a algunos cambios en el entorno. Todo lo que les rodea está plenamente desarrollado, su forma de trabajar, su forma de comunicarse, y todo ello redunda en una mejora del servicio.

Entonces los servicios empresariales se tratan de analizar y mejorar los recursos de la empresa, como lo son: los económicos, humanos, la infraestructura y otros [32].

1.1.4.1. Tipos de Riesgos

Cuando se trata de riesgos en las empresas, se debe tomar todos los puntos de vistas como el de la economía, es uno de los más esenciales dado que si se tiene un declive en esta, todos los sectores tendrán fallos y eso dará un efecto negativo [33].

Una clasificación muy aceptada por los académicos y profesionales es distinguir cuatro categorías: riesgos estratégicos, riesgos operacionales, riesgos financieros y riesgos de cumplimiento [33]:

- Los riesgos estratégicos: son riesgos que afectan los objetivos estratégicos de una organización [33]. Incluyen entre otros los daños a la reputación de la empresa. Por ejemplo, si en la empresa que se trabaja no se actualiza el departamento de TI y su infraestructura de redes, las personas hablaran mal de la empresa y eso dará mala imagen.

- Los riesgos operacionales: afectan a los procesos, a los sistemas, a la gente y a la cadena de valor general de un negocio y son los principales riesgos que influyen sobre la capacidad de una organización para ejecutar su plan estratégico [33]. Comprenden operaciones comerciales, de empoderamiento (por ejemplo, liderazgo y preparación para cambios), tecnología de la información (por ejemplo, relevancia y disponibilidad [34].

- Los riesgos financieros: surgen por la volatilidad en los mercados y de la economía real [33].

A las empresas no solo en la zona de redes, sino en toda su infraestructura debe tener prevención de todos los riesgos que le puede afectar negativamente en sus labores y se deben tomar medidas preventivas encaminadas a evitar o disminuir todo riesgo [32].

1.2. Antecedentes

A continuación, se presentarán los análisis y las descripciones de investigaciones hechas en relación con el tema de estudio “Integración de Redes Definidas por

Software (SD-WAN) para garantizar los servicios empresariales.” que sirven de base de apoyo a nivel de conocimiento para realizar el análisis de la presente investigación.

Una descripción de los trabajos relacionados publicados en los últimos 5 años (2018-2022) que fueron recuperados, aplicando un proceso de revisión sistemática en las bases de datos científicas IEEE, Microsoft Academic, Scopus, Web Of Science, SciencieDirect, World Wide Science y usando una cadena de búsqueda especializada ((SD-WAN OR sdwan OR Network OR Software) AND Business Services) son descritos a continuación:

La primera investigación estudiada titulada “Implementación de SD-WAN Corporativo para el uso eficiente de las telecomunicaciones para el Holding Quito Motors”, presentaron en este informe técnico, una implementación en el Holding Quito Motors que tenía como objetivo principal implementar los servicios de una red de comunicaciones moderna, cuando se realizaba el informe se trabajaba con una red desactualizada que acarreaba problemas como el rendimiento y la seguridad, que para cualquier empresa son temas sumamente importantes y estas provocaron que la experiencia en varias aplicaciones fueron deficientes [35]

En esta implementación se utilizó una metodología en cascada, la misma que está compuesta por las siguientes partes: 1. Requisitos: Se realizó los análisis de las necesidades actuales. 2. Diseño: Elaboración de un esquema gráfico que cumpla con las necesidades de la etapa anterior. 3. Implementación: Se procedió con la implementación del modelo propuesto en la fase de diseño. 4. Verificación: Finalizada la fase de implementación se realizaron las respectivas pruebas para verificar lo propuesto en fase de diseño. Una vez logrado la implementación de la nueva red para la empresa, se consiguió una mejora notable del rendimiento, la administración, gestión, seguridad y disponibilidad de la red. Se concluyó con éxito la implementación de los servicios ya mencionados y otros, tales como: telefonía IP, implementación del active directory, segmentación de red, filtrado de correos, ente otros. Todo esto con una administración mejorada, configuración y una ejecución oportuna. Cabe concluir que SD-WAN fue la puerta para la apertura de nuevos servicios que permitió a la empresa comenzar un cambio hacia la nueva tecnología. Para resumir, se logró maximizar los beneficios minimizando costos, cumpliendo con un principio básico de la reingeniería de procesos [35].

Esta investigación se relaciona con el tema de estudio debido a que presentó un informe técnico de la nueva manera de trabajar con SD-WAN y analizó todos los beneficios que se consiguió y así la empresa seguir laborando de la mejor manera.

La segunda investigación estudiada titulada "Diseño y simulación de una red de accesos en GNS3 utilizando la tecnología SD-WAN para medianas empresas en el Ecuador", presenta un estudio y simulación de la implementación de esta red con los beneficios que puede conceder esta tecnología, que a base de una infraestructura totalmente digital que cumple con parámetros importantes como son productividad, eficiencia y reducción de costos, puede solucionar y optimizar muchos recursos cumpliendo con las garantías de calidad de servicios QoS (Quality of Service). Tiene como objetivo diseñar y simular una red de accesos utilizando la tecnología SD-WAN mediante el Software GNS3 al fin de cumplir con las necesidades y requerimientos de las medianas empresas en el Ecuador [36].

La metodología presentada empieza con una investigación exploratoria de las redes de acceso de comunicación tradicional en las medianas empresas en el Ecuador y pretende explorar los beneficios que brindará a los clientes haciendo sus redes más seguras. Para el desarrollo de este proyecto se aplica el método científico utilizando la investigación descriptiva y exploratoria, con la finalidad de describir las características de la tecnología SD-WAN que permitirá tener en cuenta aspectos de relevancia al momento de desarrollar el diseño de una Red de Accesos utilizando dicha tecnología. Asimismo, es del tipo experimental y analítico ya que requiere ejecutar mediante la simulación, un análisis de los beneficios que brindará a las empresas dicha tecnología. Como resultado se logró simular e implementar el diseño de la red para este proyecto de investigación a través del simulador GNS3 aplicando la tecnología SDWAN, el mismo que permite configurar de forma manual o gráfica los enrutamientos, gestión de equipos, tiempos de latencia, conmutación rápida, etc., y observar gráficamente mediante curvas el rendimiento del comportamiento parcial o total de la red [36].

Esta investigación se relaciona con el tema de estudio debido a que presentó un estudio que lo enfocará en los beneficios y soluciones que se tendrá al migrar esta tecnología de las redes tradicionales de comunicación.

La tercera investigación estudiada titulada “SD-WAN Source Route Based on Protocol-oblivious Forwarding”, presenta una solución basada en Protocol-Oblivious Forwarding (POF). Es un mayor grado de desacoplamiento de planos de datos y control. El plano de control utiliza campos no relacionados con el protocolo para unificar la coincidencia y la ruta de paquetes, y el plano de datos utiliza un conjunto de instrucciones generales de flujo en el avance rápido. La metodología presentada tiene como objetivo establecer un entorno de prueba SD-WAN para demostrar que la solución de enrutamiento de origen de POF es eficaz. Tiene la topología lineal que consta de un controlador SD-WAN y dos interruptores de borde. La diferencia es que se agrega continuamente el número de conmutadores centrales para aumentar el número de saltos desde el paquete a la red de destino. Y comparar el rendimiento entre este modelo y la red SDN del protocolo OpenFlow. Para simular una red real, se organizó el tráfico de fondo en los enlaces entre los conmutadores centrales. El terminal de origen comienza a hacer ping al terminal de destino ya que no hay una regla de coincidencia configurada para él en el primer conmutador de borde para que envíe un paquete de entrada al controlador SD-WAN y solicite una entrada de ruta. El controlador SD-WAN procesa este mensaje y comienza a generar la información de ruta a lo largo del puerto de salida de cada salto. Después de eso, codifica los puertos que forman la ruta como bytes en los paquetes de enrutamiento de origen. El paquete autenticado se tomará del puerto de salida de la cola de metadatos y realizará la operación de reenvío. El último conmutador de borde verifica que TTL sea 0 y desencapsula el encabezado de enrutamiento de origen y lo devuelve al paquete ICMP, enviándolo al terminal de destino. Como resultado, se logra un retraso más corto y de nivel constante en comparación con la solución tradicional de OpenFlow [37], [38].

La investigación reciente se relaciona debido a que presentó un estudio para demostrar que al trabajar con SD-WAN se logró un mejor trabajo en cuestiones de tiempo y este mismo garantiza que los servicios a los usuarios serán de mejor manera.

La cuarta investigación estudiada titulada “SD-WAN: An Open-Source Implementation for Enterprise Networking Services”, presenta como objetivo principal un desarrollo de un banco de pruebas SD-WAN experimental como una red empresarial para brindar flujos de servicios con ciertos umbrales de QoS a través de Internet de banda ancha mediante el uso de capacidades definidas por software. La metodología presentada tiene como objetivo demostrar una prueba en un entorno de

red simple pero realista, desarrollaron dos aplicaciones: módulo de monitoreo y conmutación de ruta. El módulo de monitoreo puede proporcionar métricas de retraso y pérdida de paquetes enviando y capturando paquetes de sondeo a la red utilizando el generador de tráfico D-ITG. El módulo de conmutación de rutas gestiona las decisiones de reenvío de flujo de acuerdo con la salida tomada por los módulos de monitoreo. Este trabajo representa una primera implementación de código abierto de esta tecnología emergente demostrando las ventajas que conlleva su adopción. Y como resultado mostraron nuevas características y ventajas para la empresa en términos de optimización de recursos. En conclusión, la arquitectura WAN empresarial tradicional ha tenido que evolucionar para abordar los nuevos requisitos de la era digital. SD-WAN amplía las posibilidades de que las empresas migren a aplicaciones en la nube de manera segura y proporciona un modelo de implementación flexible [38].

Esta investigación se relaciona con el tema de estudio debido a que presentó una manera de hacer pruebas y medir el desempeño de SD-WAN para las empresas.

La quinta investigación estudiada titulada "Techno-economic Analysis from Implementing SD-WAN with 4G/LTE, A Case Study in XYZ Company", presenta un análisis de la implementación de SD-WAN usando 4G/LTE para proporcionar una conexión de respaldo para la red ATM. La metodología presentada usó el método tecno-económico. Hay dos objetivos principales al utilizar este método. Primero, tiene como objetivo diseñar la arquitectura de red que pueda resolver el problema actual en la red ATM utilizando SD-WAN. En segundo lugar, analiza la viabilidad de la inversión a partir de la arquitectura de red propuesta. Los resultados muestran que técnicamente SD-WAN con 4G / LTE se puede utilizar como una conexión redundante. La arquitectura propuesta es VSAT se utilizará como el enlace principal para reenviar tráfico y 4G / LTE como respaldo en el estado de espera (no reenviar tráfico). Se utilizará 4G / LTE si la conexión VSAT no funciona o tiene un rendimiento inferior. Desde el punto de vista económico, la implementación de SD-WAN con 4G/LTE es factible y rentable. En conclusión, con base en el análisis tecno-económico, la implementación de SD-WAN con 4G/LTE para brindar una conexión redundante para la red ATM es factible y rentable [39].

Esta investigación se relaciona con el tema de estudio de la presente investigación debido a que presenta un análisis de SD-WAN para comprobar que trabajar con esta nueva tecnología es factible y da beneficios.

La sexta investigación estudiada titulada “Evaluation of an SDN-WAN controller applied to services hosted in the cloud”, presenta una evaluación de SD-WAN en la orquestación de una red corporativa, que interconecta dos centros de datos definidos por software (SDDC), en los que despliega servicios de comunicaciones unificadas (UCaaS), alojados en dos nubes privadas. Donde se evaluó el desempeño del controlador de red y la calidad de los servicios. Para evaluar la red propuesta, se realizaron pruebas de concepto, definiendo una metodología para probar y validar despliegues de infraestructura y refinar soluciones complejas en entornos reales, que están en constante evolución. En este escenario se implementó dos centros de datos independientes definidos por software (SDDC), que implementan nubes privadas en un hipervisor Citrix10 a través de Openstak. La conexión de los SDDC se realizó a través de un canal de datos inalámbrico, configurado con el estándar 802.11ac a una frecuencia de 5,8 GHz. Finalmente, se realizó dos corridas, con diferentes evaluaciones, para medir la eficiencia de la propuesta. En la primera ejecución, se demostró que las plataformas soportadas por la nube se integran de forma natural con la red, lo que mejora su respuesta. Esto, garantiza un nivel adecuado de QoS, que permite brindar servicios de manera eficiente. En la segunda ejecución, se agrega una gran carga de trabajo al controlador SDN-WAN y se realizan pruebas específicas de carga en combinación con pruebas de servicios de datos, video, voz y UCaaS. Con los resultados obtenidos, se concluye que las redes SDN-WAN se convertirán en facilitadoras y habilitadoras de nuevas tecnologías que requieren el dinamismo y escalado de sistemas definidos por software, como Internet de las Cosas, servicios basados en la nube y servicios bajo demanda [40].

Esta investigación se relaciona con el tema de estudio debido a que presenta una manera de hacer pruebas y medir el desempeño de estas nuevas herramientas en todas las plataformas y comprobar de que en donde se usen darán beneficios y garantías a las empresas que las usen.

1.3. Fundamentación legal

La presente investigación se basa en la aplicación y regimientos de las siguientes normas y leyes: Constitución de la República del Ecuador [41], la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) [42], la Ley de Propiedad Intelectual [43].

De acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador en el Titulo VII de Régimen de buen vivir, Capitulo Primero de Inclusión y equidad, Sección octava de Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales; que en el Art. 385, menciona que "Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir" [41].

Además, de acuerdo con la Ley Orgánica de educación superior en el Título I de Ámbito, objeto, fines y principios del sistema de educación superior; Capítulo 2 Fines de la educación superior, en el Art. 8.- Fines de la Educación Superior, describe en uno de sus apartados que "Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente" [42]. Este estudio, tiene la intención de proporcionar una invención que resuelva una problemática, fomentando la investigación tecnológica en virtud de colaborar en el desarrollo a las empresas.

En la Ley de Propiedad Intelectual en el Libro I, en su Título I De los derechos de autor y derechos conexos, Capítulo I Del derecho de autor, Sección I Preceptos generales, el Art. 4 menciona que "Se reconocen y garantizan los derechos de los autores y los derechos de los demás titulares sobre sus obras" [43]. En consecuencia, de lo ya mencionado, el estudio cumplirá con todos los parámetros de autoría, respetando los lineamientos a fines del derecho de autor de los estudios previamente publicados y de los licenciamientos de las herramientas de software a usar para el desarrollo del sistema propuesto.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Delimitación de la investigación

La investigación sobre prototipos de redes definidas por software se centra específicamente en consumir, educar y mejorar los servicios en las redes WAN.

Este estudio se abordó en la etapa de investigación y análisis de la información que fue proporcionada por los artículos estudiados en el segundo trimestre del 2021. Por consiguiente, se realizó la fase de desarrollo y prueba en un periodo de cuatro meses, comprendido los meses de mayo hasta agosto del 2022.

2.2. Tipo de investigación

Dentro del presente tema de investigación, debido a los objetivos planteados se implementó varias metodologías para poder realizar una investigación que cumpla con todo lo propuesto.

La investigación es de tipo bibliográfica, se realizó una investigación científica debido a que la información que se ha obtenido fue extraída de bases de datos bibliográficas que sirven como base para organizar la información de la presente investigación.

La investigación es de tipo deductiva, dado que se evaluó diferentes plataformas para realizar el prototipo y en base a ello se proporcionó información acerca de los resultados obtenidos.

Esta investigación tiene una metodología híbrida dado que se utilizó la metodología cualitativa y la cuantitativa.

Pertenece al enfoque cuantitativo dado que luego de desarrollar el prototipo de la red definida por software, se obtuvo resultados sobre las características que se requieren, además de la escalabilidad que proporcionará para determinar el porcentaje de incremento del software desarrollado.

Y al enfoque cualitativo que “es aquel que utiliza exclusivamente información cuyo análisis se dirige a lograr descripciones detalladas de los fenómenos estudiados” [44]. Dado que la forma de la obtención de información de la presente investigación se dio mediante el análisis de diferentes artículos, tesis, libros y páginas web oficiales de las

herramientas utilizadas. De esta manera se obtuvo los mejores resultados al realizar el prototipo.

Se utilizó para este estudio una investigación experimental por motivos que el enfoque se basa, donde “el experimento se puede replicar para comprobar la hipótesis” [45].

2.3. Métodos de investigación

La relación con los métodos de investigación científica, se utilizó un estudio descriptivo y el método experimental por su alto nivel de manipulación de variables.

Es experimental, puesto que se utilizó una propuesta para resolver el problema planteado [46]. Cabe recalcar que esta investigación exploratoria impulsa el desarrollo de un estudio el cual podrá ser visto por más investigadores que deseen aprender del tema.

En cambio, el método descriptivo nos ayudó por la forma en especificar propiedades y características importantes de lo que se analizó [46].

2.4. Población y Muestra

La población está constituida para las pequeñas empresas que tienen poseen redes WAN. Debido al tamaño de la población, en esta investigación no se establecerá una muestra.

2.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la prosperidad del estudio se usó una técnica de investigación, con la que se abarcaron los puntos principales a estudiar y fomentar una adecuada investigación.

Para ello, la técnica que se utilizó fue la recopilación documental, con la intención de obtener toda la información sobre los aspectos necesarios para la construcción del ambiente de la simulación, y comenzando de ese punto se desarrolló el proyecto. Por último, se documentó todo el proceso desde la construcción hasta los resultados que se consiguió a través de esta técnica.

2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de la información se utilizó la estadística descriptiva, la cual es una disciplina o área responsable de recopilar, almacenar y ordenar los conjuntos de datos [47]. Esta se utilizó para realizar la gestión de los resultados que tuvo el estudio, los cuales fueron obtenidos a partir del diseño experimenta. Todos los documentos se pueden visualizar en la Figura 30.

2.7. Normas éticas

Para el presente plan de investigación se mantuvo bajo las normativas éticas, las mismas que estas dispuestas a diversos lineamientos del Reglamento de Grados de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas. Todo esto fue respetando el derecho de la propiedad intelectual, con relación a las ideas de cada documento científico analizado, con esto se garantiza el respeto a los derechos de autor de las diferentes investigaciones estudiadas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Propuesta de Prototipo en la herramienta GNS3

Luego de acabar con la revisión de las bases teóricas, se procedió a identificar los procesos necesarios para realizar la simulación de la red SDWAN. En la Figura 30 se visualiza el resultado de la revisión documental.

3.1.1. Comparación de las principales herramientas orientadas al control de las redes definidas por software (SD-WAN)

A partir del análisis de la información realizada, se consideró algunos datos que fueron utilizados para escoger las herramientas necesarias. Cabe recalcar que todas las herramientas van a tener limitaciones al no tener las licencias completas.

Los resultados que se obtuvieron se encuentran en la Tabla 3, de forma más detallada, la información presentada es sobre las principales características.

Tabla 3 Comparación entre los Controladores SD-WAN [48]–[50].

	Controladores SD-WAN		
Características	**Citrix SD-WAN**	**Fortinet Fortigate**	**CISCO**
Configuración	Permite combinar dos conexiones asimétricas.	La interfaz es sencilla de configurar.	El equipo es robusto y confiable
Rendimiento	Posee una estabilidad continua.	Todas las funciones habilitadas en el firewall generar poco impacto.	Tiene la capacidad de integrarse con otras tecnologías.
Herramientas de monitoreo	No tiene gran cantidad de herramientas.	Fortigate posee más herramientas de monitoreo que los demás.	Las herramientas que posee son más precisas para los trabajos.
Cuadrante Mágico de Gartner 2021	Se encuentra en 8vo lugar.	Según Fortinet se encuentra como Líder de uso.	Se encuentra en 6to lugar.

Se consideró el uso de Fortinet como herramienta de desarrollo de prototipos. Esto se debe a que las propiedades de Fortinet son convenientes para ejecutar simulaciones, dadas las otras propiedades. Además, la interfaz de Fortigate es la más fácil de usar.

3.2. Diseño y construcción de la Infraestructura SD-WAN.

A través de todos los documentos revisados y analizados, y de realizar las respectivas comparaciones de las herramientas sobre SD-WAN se empezó a diseñar un modelo de red que nos permita distribuir todos los nodos.

Para este prototipo será todo virtualizado por lo que no se necesitará comprar los dispositivos, todo se hará desde la herramienta de virtualización GNS3.

Para la construcción de la red SD-WAN se utilizó los siguientes materiales:

- 1 Cloud

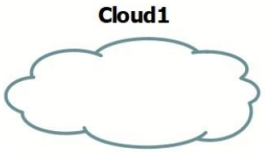

Figura 8 Cloud en GNS3.

- 4 equipos Fortigate versión 5.6.1

Figura 9 Equipo FortiGate 5.6.1 en GNS3.

- 7 equipos Ethernet Switch de Cisco

Figura 10 Equipo Switch en GNS3.

- 6 equipos VPCs.

Figura 11 Equipo VPCS para GNS3.

El primer paso antes de trabajar con la infraestructura completa es comprobar en que red estamos conectados, por lo que hacemos una prueba con el Cloud y 1 VPCs. Como se observa en la Figura 12, nos enseña en que red estamos y que si tenemos salida a Internet.

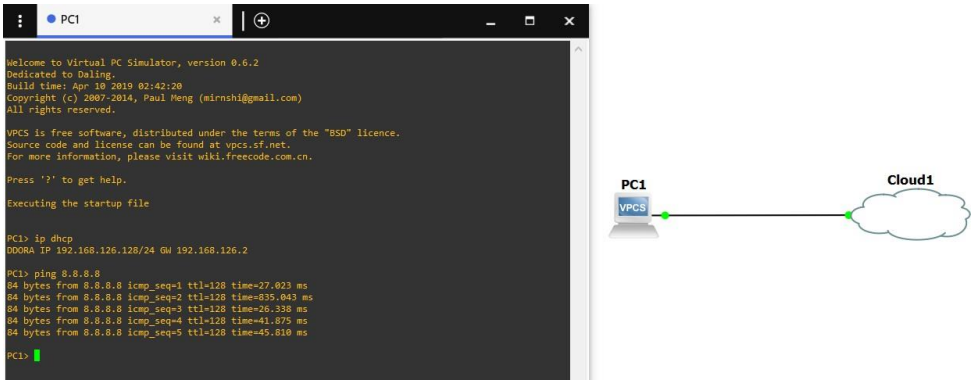

Figura 12 Verificación de Red y Salida a Internet

Una vez que se establecen las direcciones para cada enlace, se implementa la red. La Figura 13 muestra tanto los dispositivos utilizados como el enlace y el número de puerto al que están conectados los dispositivos. Esto es importante para la configuración posterior en el dispositivo Fortigate.

Entonces este es el esquema acabado:

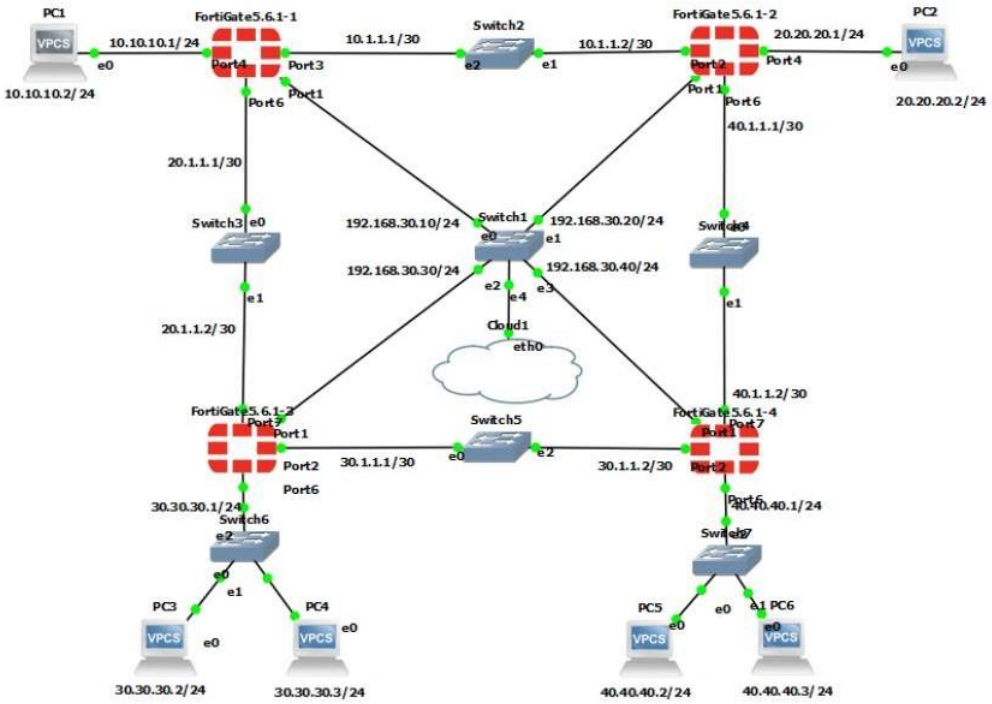

Figura 13 Red SD-WAN

Luego de terminar la infraestructura procedemos a configurar los equipos. Debemos ingresar al navegador e insertar la dirección Ip de nuestro equipo Fortigate y nos parece la página donde iniciaremos sesión como se puede observar en la Figura 14. Luego iniciamos sesión y nos aparecerá el dashboard como se puede ver en la Figura 15 y comenzaremos a trabajar en las configuraciones.

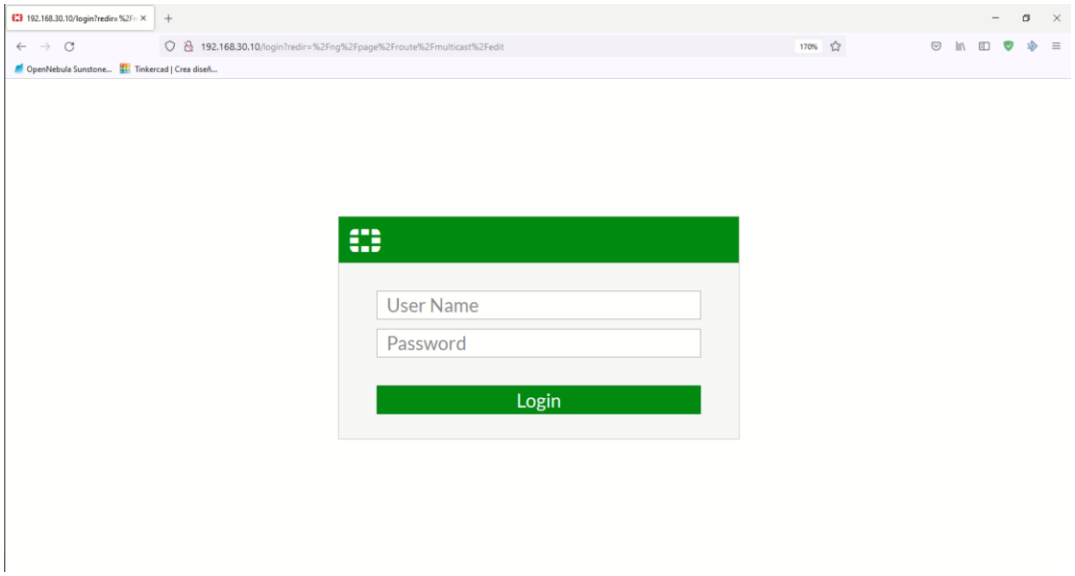

Figura 14 Página Inicial de FortiGate

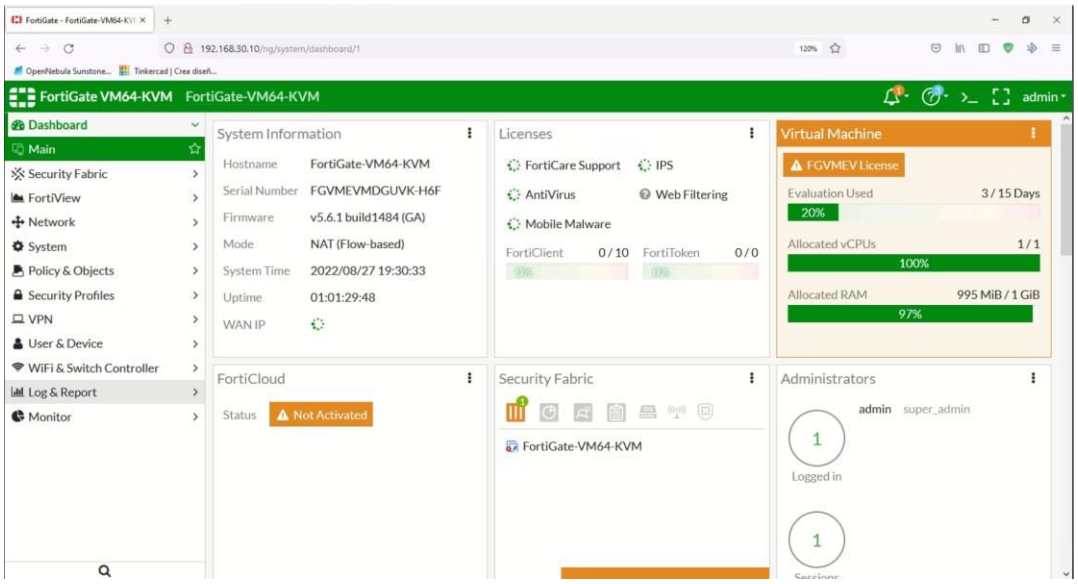

Figura 15 Dashboard FortiGate

3.3. Prueba de Verificación de conexión

En este apartado se mostrarán las pruebas ya finalizadas sobre el funcionamiento de las diferentes conexiones realizadas por medio del protocolo de enrutamiento dinámico OSPF, así como las salidas a Internet.

Una principal característica al trabajar con la red SD-WAN, es poder verificar la conexión en todos los puntos de la infraestructura, por lo que se procedió a verificar las conexiones.

3.3.1. Verificación de Conexiones mediante los equipos Fortigate.

Para la verificación dentro de los equipos Fortigate se puede realizar de dos formas:

Mediante el terminal del equipo escribiendo el comando: "get router info routing-table all".

En la Figura 16 se puede comprobar como en el Equipo Fortigate 1, están las conexiones de todos los dispositivos. También se comprobó del otro extremo en el equipo Fortigate 4 como se puede observar en la Figura 17.

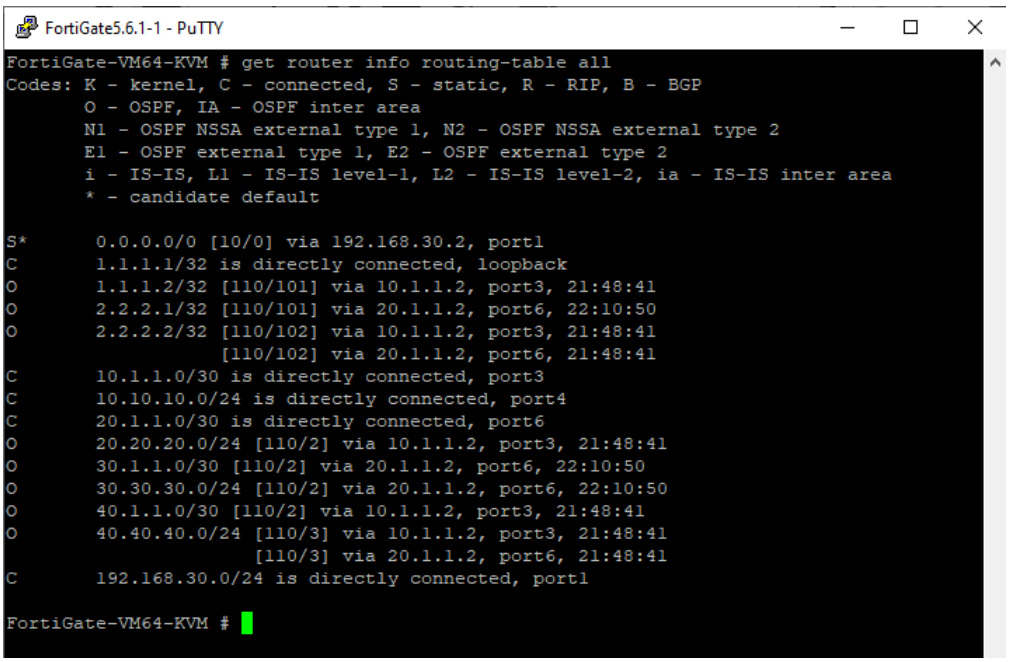

Figura 16 Equipo FortiGate1 mostrando las conexiones de toda la red

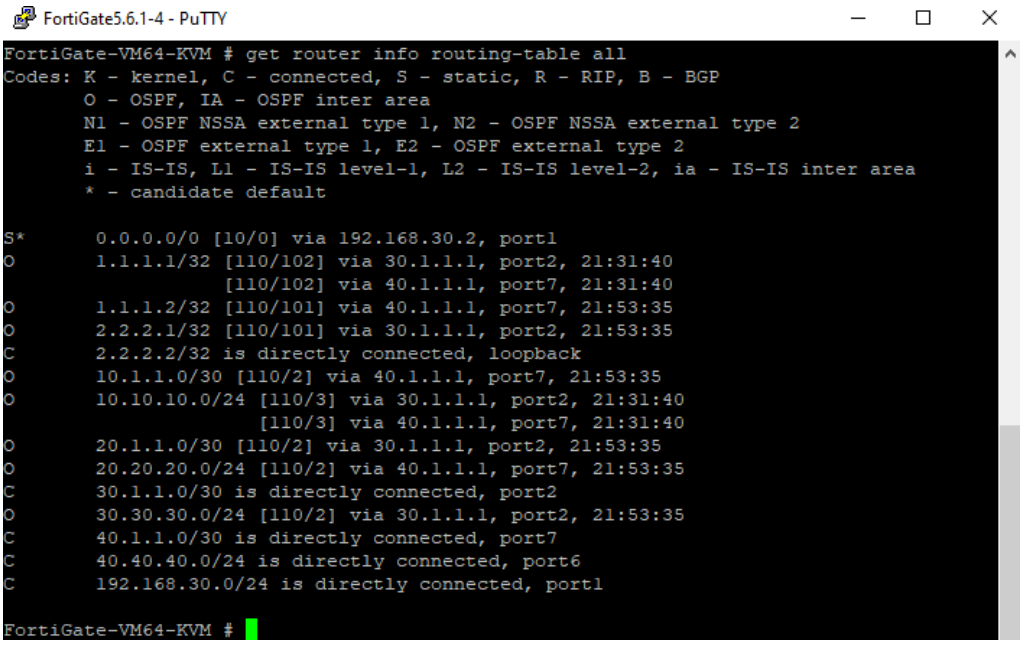

Figura 17 Equipo FortiGate4 con las conexiones de la red.

3.3.2. Verificación de conexiones mediante los equipos VPCs.

Y en la Figura 18 y Figura 19 se puede ver que los equipos VPCs 1 y 6 se colocó el comando ‘ping’ a los demás equipos para comprobar si existe la conexión, además, se envió un ping para comprobar si tenemos internet en el dispositivo.

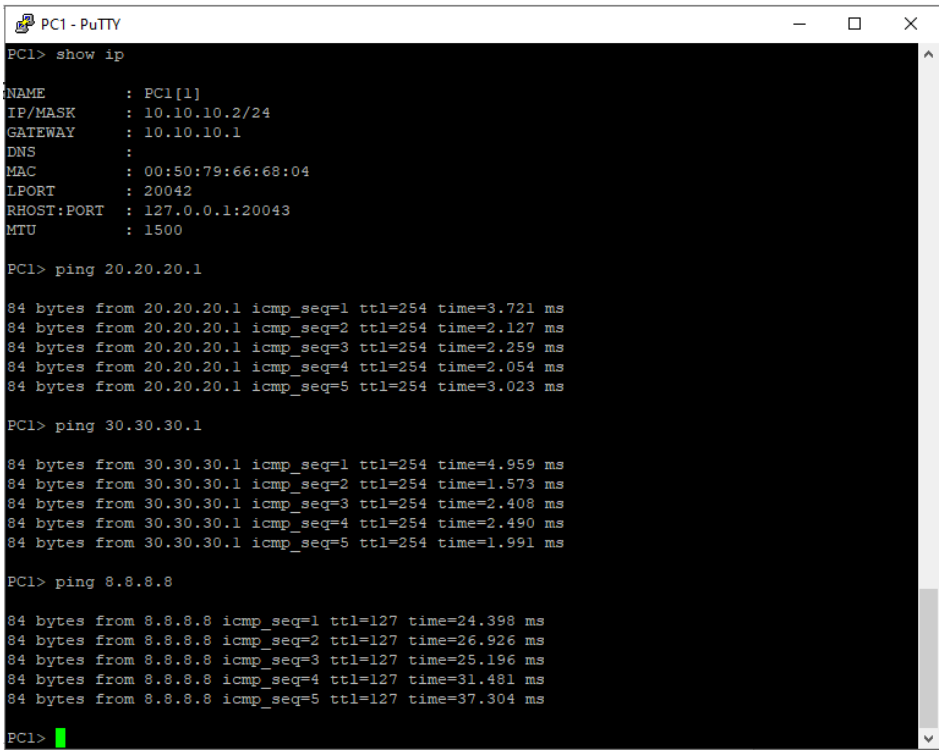

Figura 18 Equipo VPCs enviando ping a los demás dispositivos.

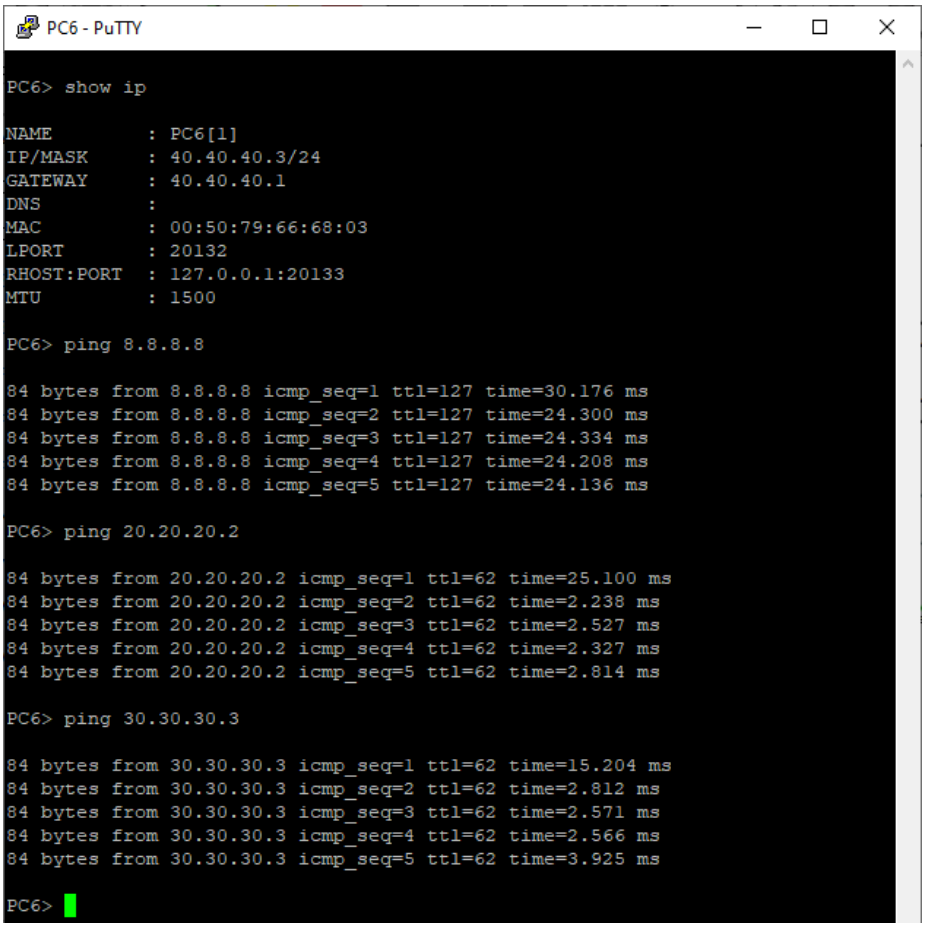

Figura 19 Equipo VPCs 6 probando conexión con las demás redes

3.4. Resultados obtenidos del prototipo realizado con el equipo Fortigate

En esta sección se procedió a detallar los resultados que es obtuvo de la simulación de la red.

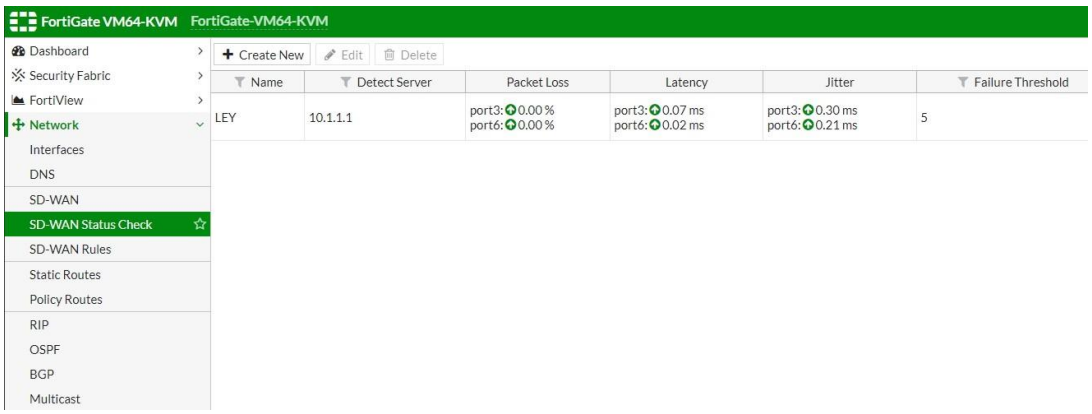

Figura 20 Monitoreo del funcionamiento de los enlaces SD-WAN , Paquetes Perdidos.

En la Figura 20 se observa las principales funciones del monitoreo de los enlaces de SD-WAN que se llevan ejecutando, se tiene 3 parámetros importantes los cuales son los siguientes :

a) **Paquetes Perdidos**: Este parámetro es esencial, por lo que indica el porcentaje de los paquetes perdidos en el enlace SD-WAN, en el caso actual no existió fallos.

b) **Latencias**: Este parámetro determina el tiempo en que el paquete tarda en transmitirse, esto va de la mano con la velocidad del internet que se disponga.

c) **Fluctuación de retardo**: Este parámetro determina la variación del tiempo en el que se transmiten los paquetes. Si llega a existir problemas, se soluciona con un balance de carga.

3.4.1. Resultado de la prueba de Failover

Una de las pruebas que se realizo fue la de Failover, esta función permite que las redes tengan tolerancia a los fallos causados por perdida de conexión. Como se aprecia en la Figura 21 se está enviando un mensaje ICMP para solicitar respuesta a otra de las máquinas de la red. En ese momento todas las conexiones se encuentran en funcionamiento.

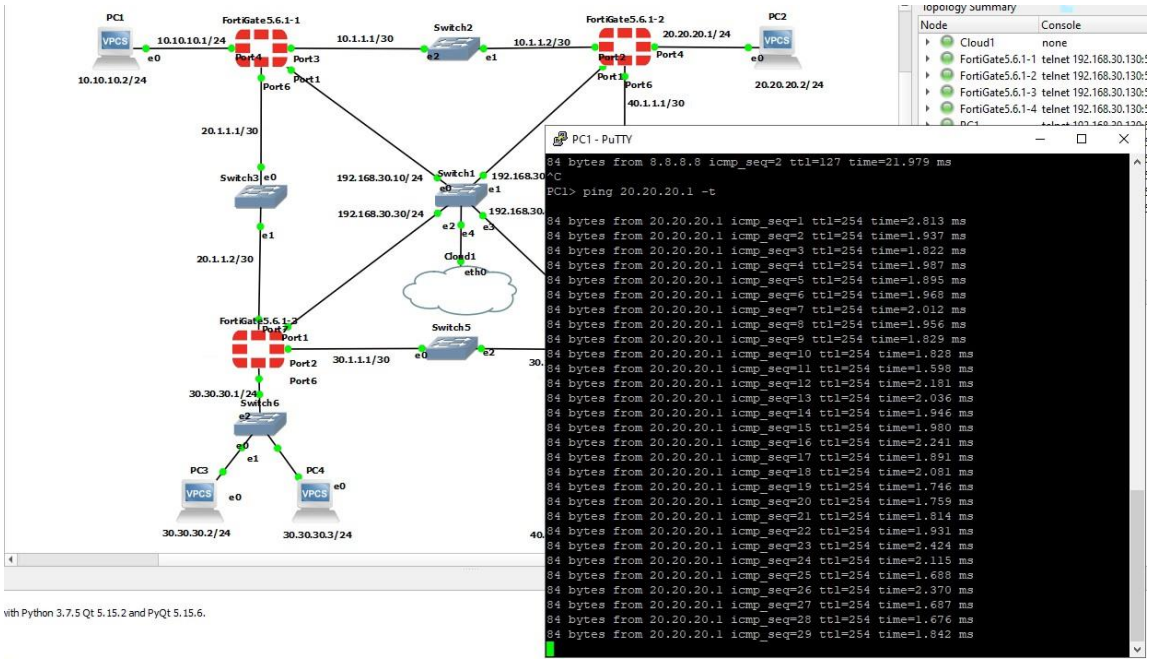

Figura 21 Redes con todas las conexiones en funcionamiento.

En la Figura 22 se observa que se ha retirado la conexión del Equipo Fortigate 1 hacia la nube, sin embargo, se aprecia que el envío de datos no se ha cortado, debido a que la función de Failover permitió la redundancia entre las conexiones de la red.

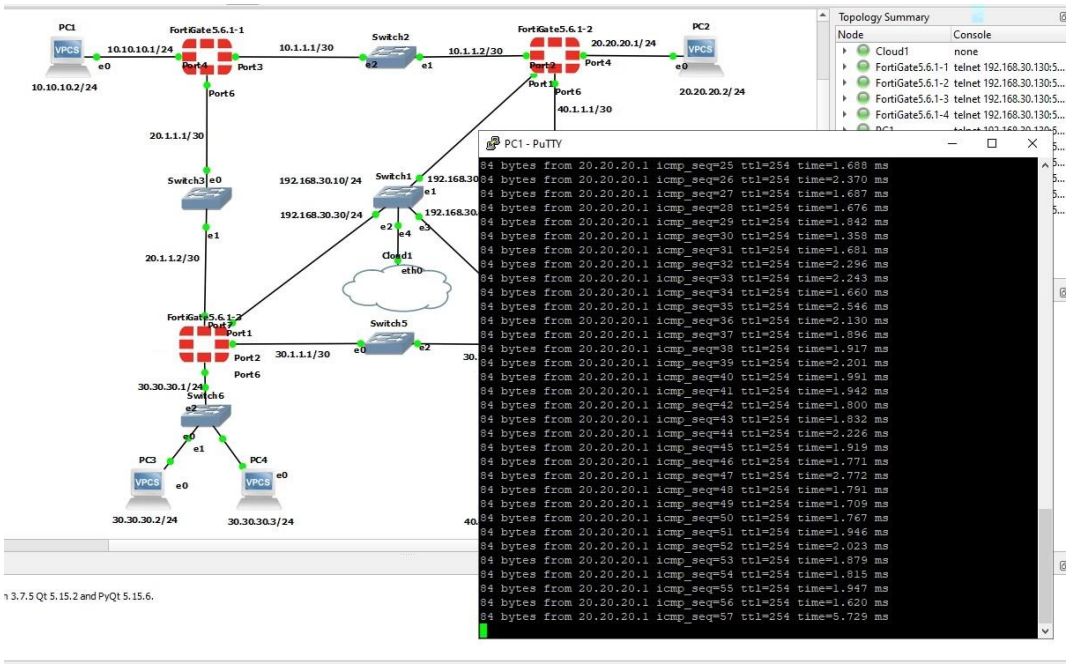

Figura 22 Failover en ejecución.

Para comprobar de que no hubo perdidas de envío de paquetes también se utilizó el software Wireshark, que es un analizador de protocolos y cuenta con todas las características estándar de un analizador de protocolos [51]. Como se observa en la Figura 23 justo en el momento que se corta la conexión, los paquetes no dejan de enviarse hacia su objetivo.

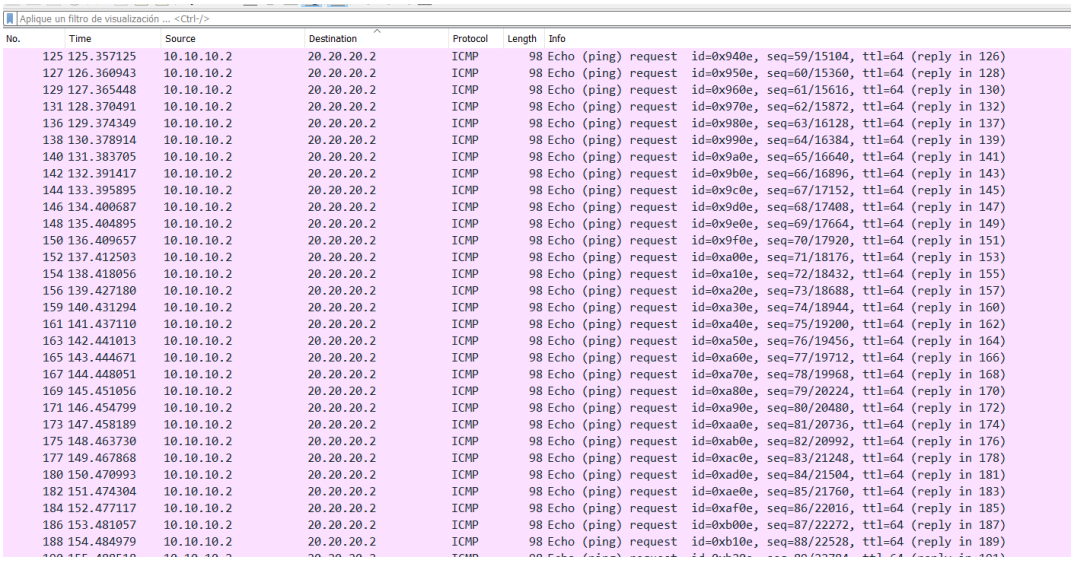

Figura 23 Visualización de envíos de paquetes en Wireshark.

3.4.2. Resultado de la prueba de Balanceo de Carga

Por otra parte, se realizó otro tipo de prueba para verificar que la carga recibida se distribuya y no se sature debido a un exceso por las peticiones que recibe. En la Figura 24 se puede observar la configuración del balance de cargas en las redes, se especificó los porcentajes para dividir la carga de envíos de paquetes, detallando que en la primera red que está conectada al puerto 3 con un 60% de carga mientras que por el puerto 6 se tiene el 40% restante.

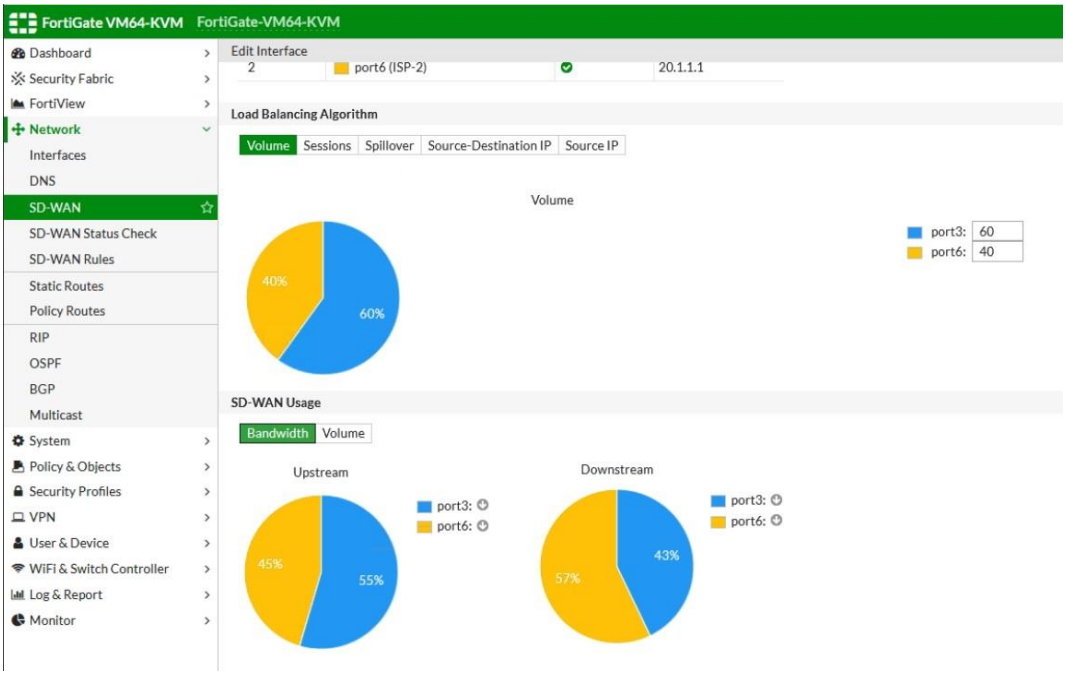

Figura 24 Configuración del balanceo de carga.

En la Figura 25 se puede observar que el balanceo de carga está funcionando correctamente en base a los porcentajes previamente especificados.

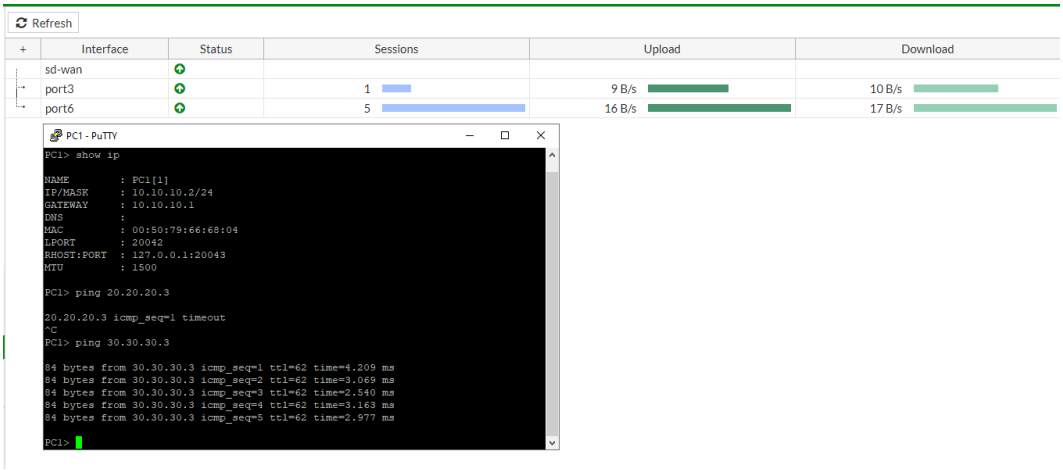

Figura 25 Funcionamiento del Balanceo de Carga

3.4.3. Cálculo de perdida de paquetes

En todas las redes uno de los problemas que más se puede encontrar es la perdida de paquetes. El cual ocurre cuando uno o más paquetes dentro de una transmisión se envían con éxito, pero no llegan a su destino [21] . Esta puede ser causada por varios factores como [21], [52]–[54]:

a) Congestionamiento de red.
b) Componentes de red defectuoso (hardware o controladores).
c) Paquetes corruptos dentro de la transmisión.

Cabe señalar que los paquetes erróneos generalmente no se consideran fuera de los paquetes perdidos en las redes informáticas porque la mayoría de las aplicaciones requieren integridad de datos.

3.4.3.1. Calcular perdida de paquetes

Para recuperarse de la perdida de paquetes, los datos deben retransmitirse al destino para completar las soluciones con éxito, las cantidades de datos retransmitidos por flujo se utiliza para calcular la métrica de eficiencia de la red. Podemos observar la siguiente fórmula para poder calcular la perdida de paquetes [55], [56]:

$$Efficiency = 100 * \frac{(\ transferred - retransmitted)}{transferred}$$

$$NetworkLoss = 100 - Efficiency$$

Cabe explicar los significados de cada variable:

a) Efficiency: Comunicación entre nodos.
b) Transferred: Datos enviados en el ping.
c) Retransmitted: Paquetes que se perdieron durante la transmisión.
d) NetworkLoss: Paquetes perdidos de la red.

3.4.3.2. Resultados de perdida de paquetes

Los ejercicios realizados en la presente investigación se procedió a calcular la perdida de paquetes de los ejercicios para poder validar las características de SD-WAN.

Para la primera comprobación del ejercicio de Resultado de la prueba de Failover que podemos observar en la Figura 22 sobre Failover, comprobamos cuantos paquetes perdidos ha tenido. En la Figura 26 se puede observar que se realizó un total de 200 envíos de paquetes.

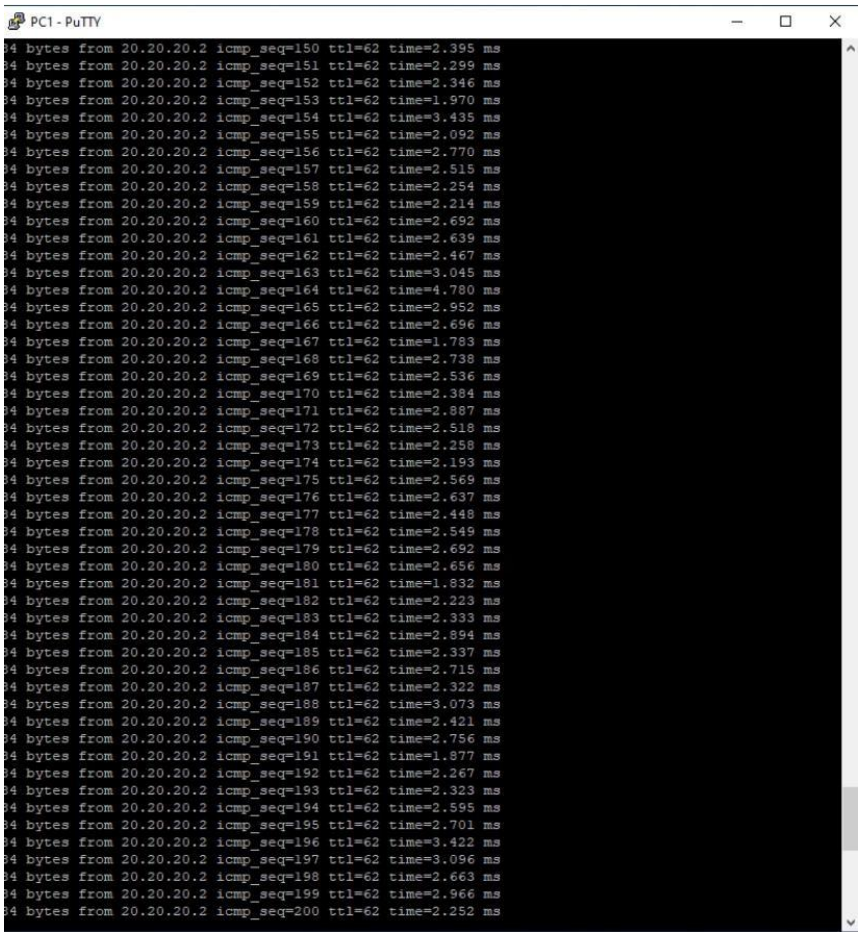

Figura 26 Envío de ping del equipo 1 al equipo 2.

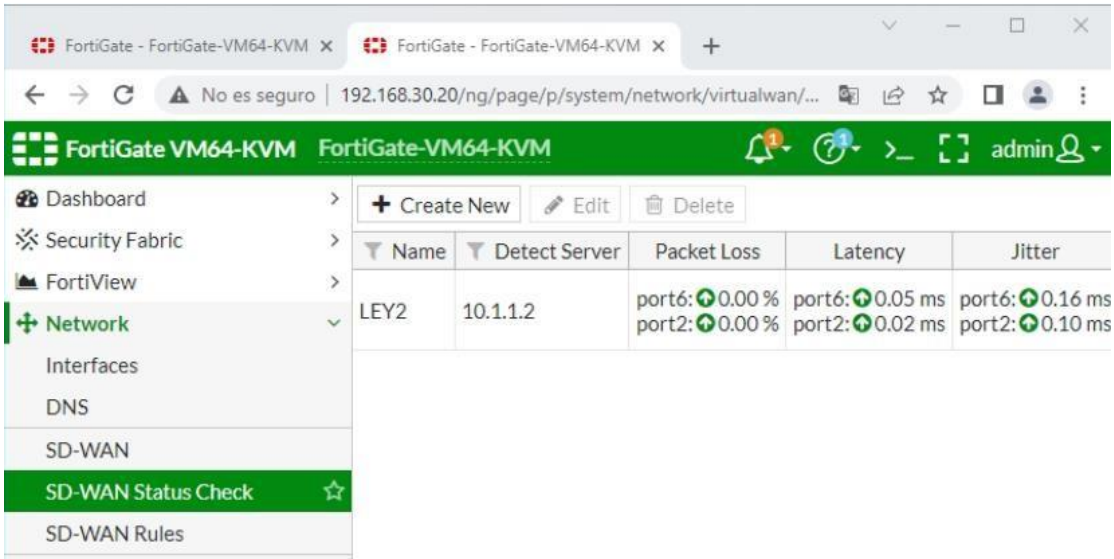

Figura 27 Packet Loss desde FortiGate2

En la Figura 27 se observa que de este envío de paquetes en el dashboard de FortiGate nos da “0% de paquetes perdidos” y realizando los cálculos con la formula plasmada en la sección Calcular perdida de paquetes, nos brinda los mismos resultados.

$$Efficiency = 100 * \frac{(200 - 0)}{200} = 100$$

$$NetworkLoss = 100 - 100 = 0\%$$

Y se realizó una prueba balance de carga, sin las configuraciones SD-WAN para realizar una comparación con la sección 3.4.2 y nos dio como resultado que si existió perdidas de paquetes como se lo puede detallar en la Figura 28 y Figura 29.

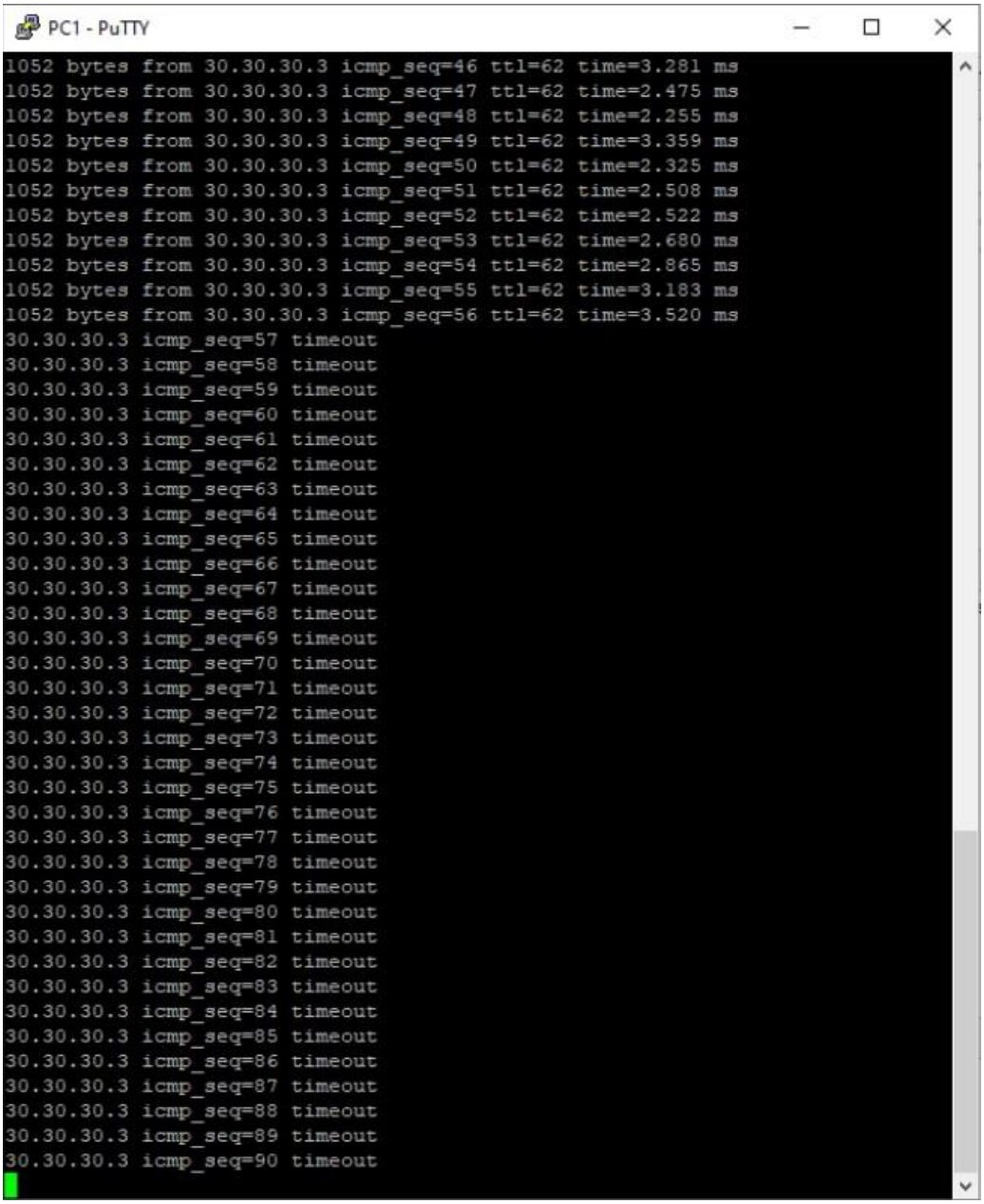

Figura 28 Perdida de Paquetes del 57 al 95

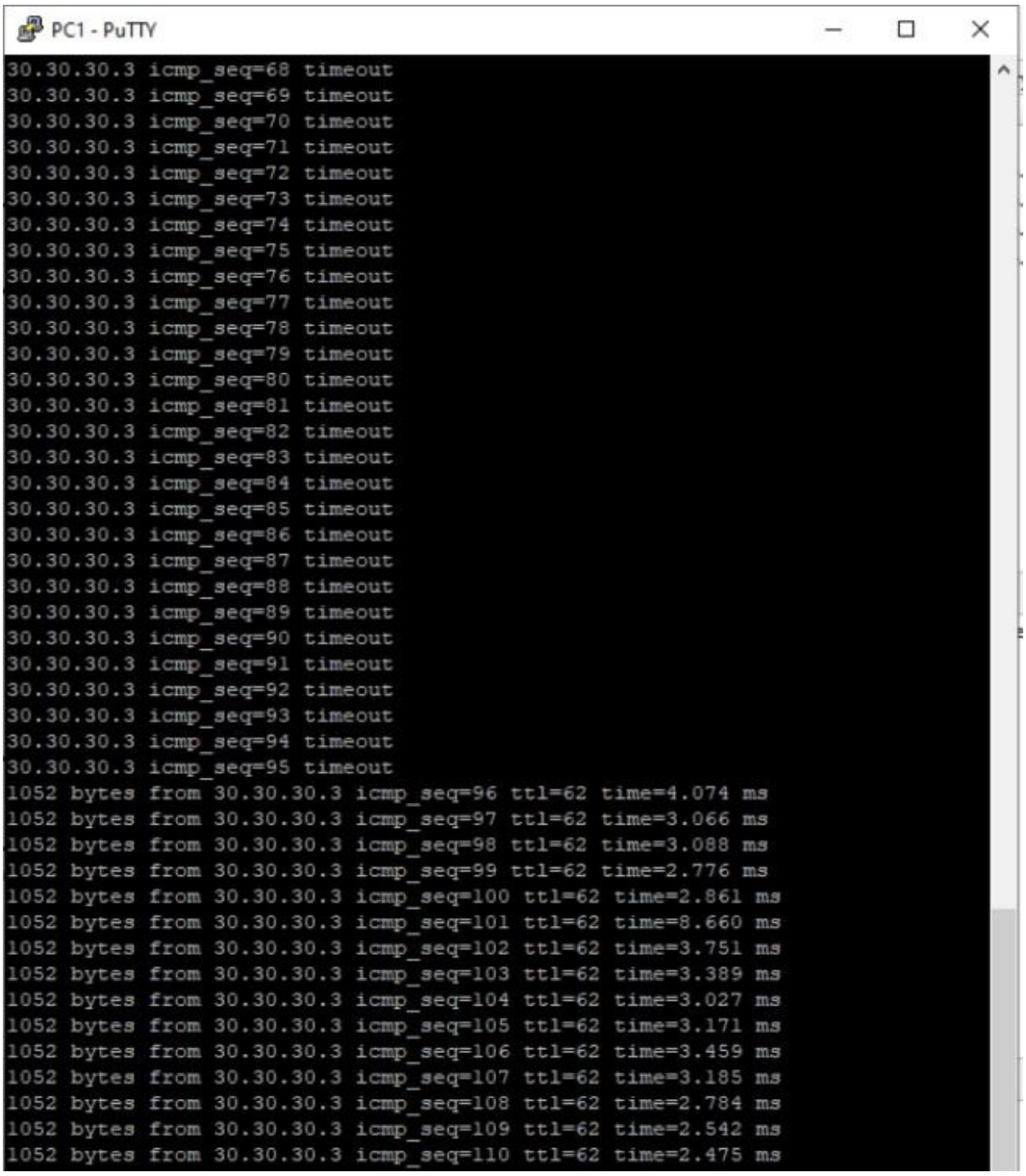

Figura 29 Se envió un total de 110 paquetes.

En la Figura 29 se observa que se realizó un total de 110 envíos y que existió un total de paquetes retransmitidos de 38. Con estos datos se puede realizó los siguientes cálculos.

$$Efficiency = 100 * \frac{(110 - 38)}{110} = 65.45$$

$$NetworkLoss = 100 - 65.45 = 34.55\%$$

Y se pudo comprobar que hubo una pérdida de 34.55% de paquetes si no se realiza la configuración SD-WAN como en la Figura 24.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

En un estudio previo de posgrado se realizó un diseño y simulación de una red de accesos en GNS3 utilizando la tecnología SD-WAN para medianas empresas [36], se concluyó que al aplicar la tecnología SD-WAN, brinda una facilidad al configurar de forma manual o gráfica los enrutamientos, gestión de equipos, tiempos de latencia, conmutación rápida, etc. En este mismo sentido, la presente investigación obtuvo los mismos resultados al realizar la simulación de la red SD-WAN con la herramienta de FortiGate, al ser sencillo y entendible el uso del dashboard para las configuraciones.

Por otra parte, en una investigación en la cual se implementó una red SD-WAN utilizando software libre [38], concluyeron que implementando mejoras en la red al programar nuevas funciones se logró un mejor monitoreo. En contraste, en el presente tema de estudio existe una limitación debido a que no se implementó software libre, por lo que no se obtuvieron esos beneficios.

Finalmente, en un estudio que se realizó una ruta de origen SD-WAN basada en el reenvío ajeno al protocolo [37], concluyeron que la solución que ellos implementaron les brindo los beneficios esperados. En comparación con el presente estudio, se obtuvo los mismos resultados, realizándolo con otra metodología, brindándonos una facilidad al poder trabajar con el dashboard que nos permite controlar las funciones sin ser expertos. Además, se prueba el balanceo de carga y Failover, lo cual permite validar con más datos estas funcionalidades como se lo puede validar en la Figura 22 y Figura 25.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con base a la revisión bibliográfica se encontró toda la información necesaria para poder entender y realizar una red definida por software.

Se describió las ventajas que brinda la tecnología SD-WAN sobre las redes tradicionales, que convierte estas redes más flexibles, adaptables y económicas a las necesidades de las medianas empresas.

Se configuro y diseño a través del software GNS3, una red de accesos utilizando tecnología SD-WAN con la implementación de equipos Fortigate, con el objetivo de cumplir los requerimientos y necesidades que requieren los administradores de red.

Este proyecto permitió simular un diseño de red, a través de un simulador que es GNS3 usando tecnología SD-WAN. Al igual que puede configurar de forma manual o gráfica el enrutamiento, la gestión de dispositivos, etc.

Recomendaciones

Para las revisiones de las bibliografías se recomienda utilizar buscadores que tengan que ver con artículos científicos para obtener resultados más amplios.

Se debe considerar y buscar con tiempo el tipo de dispositivo que se utiliza en los Fortigate, en el proyecto se trabajó con la versión 5.6.1.

Para el diseño del a redes de acceso, la tecnología SD-WAN debe considerar el tipo de dispositivos utilizados. Esto se debe a que deben corresponder a los rasgos admitidos por las fichas técnicas.

Para la realización de la simulación se debe tomar en cuenta la capacidad de los dispositivos donde se la trabajara, de tal manera de que los programas puedan ejecutarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] G. Mine, J. Hai, L. Jin, and Z. Huiying, "A design of SD-WAN-oriented wide area network access," in *Proceedings - 2020 International Conference on Computer Communication and Network Security, CCNS 2020*, Aug. 2020, pp. 174–177. doi: 10.1109/CCNS50731.2020.00046.

[2] IBM, *Implementación de SD-WAN en el Mundo Real*. SDxCentral LLC, 2018.

[3] F. Inc, "Fortinet Secure SD-WAN Reference Architecture".

[4] M. Ruffini and F. Slyne, "Moving the network to the cloud: The cloud central office revolution and its implications for the optical layer," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 37, no. 7, pp. 1706–1716, Apr. 2019, doi: 10.1109/JLT.2019.2891990.

[5] K. Alwasel *et al.*, "IoTSim-SDWAN: A simulation framework for interconnecting distributed datacenters over Software-Defined Wide Area Network (SD-WAN)," *J Parallel Distrib Comput*, vol. 143, pp. 17–35, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.JPDC.2020.04.006.

[6] R. NV, "Enterprise IT Infrastructure Spending Jumped 13% in 2018; Cisco Maintains a Big Lead | Synergy Research Group," *Synergy Research Group*, Jan. 08, 2019. https://www.srgresearch.com/articles/enterprise-it-infrastructure-spending-jumped-13-2018-cisco-maintains-big-lead (accessed May 31, 2021).

[7] R. Mehra, R. Ghai, and B. Casemore, "Adapted from Worldwide SD-WAN Survey Special Report," 2019.

[8] NetMediaEurope, "La nueva tecnología SD-WAN reduce hasta un 48% los costes en la conectividad WAN," *Silicon.es*, Jul. 28, 2017. https://www.silicon.es/experto-opinion/la-nueva-tecnologia-sd-wan-reduce-hasta-un-48-los-costes-en-la-conectividad-wan (accessed May 31, 2021).

[9] V. P. Tintín Perdomo, J. R. Caiza Caizabuano, and F. S. Caicedo Altamirano, "Arquitectura de redes de información. Principios y conceptos," *Dominio de las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 4, Nº. 2, 2018, págs. 103-122*, vol. 4, no. 2, pp. 103–122, 2018, Accessed: Aug. 17, 2021. [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6870909&info=resumen&idioma=SPA

[10] X. Hou, W. Muqing, L. Bo, and L. Yifeng, "Multi-Controller Deployment Algorithm in Hierarchical Architecture for SDWAN," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 65839–65851, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2917027.

[11] M. Warkentin and C. Orgeron, "Using the security triad to assess blockchain technology in public sector applications," *Int J Inf Manage*, vol. 52, p. 102090, Jun. 2020, doi: 10.1016/J.IJINFOMGT.2020.102090.

[12] M. Warkentin and C. Orgeron, "Using the security triad to assess blockchain technology in public sector applications," *Int J Inf Manage*, vol. 52, Jun. 2020, doi: 10.1016/J.IJINFOMGT.2020.102090.

[13] F. Bannour, S. Souihi, and A. Mellouk, "Distributed SDN Control: Survey, Taxonomy, and Challenges," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 20, no. 1, pp. 333–354, Jan. 2018, doi: 10.1109/COMST.2017.2782482.

[14] Z. Yang, Y. Cui, B. Li, Y. Liu, and Y. Xu, “Software-defined wide area network (SD-WAN): architecture, advances and opportunities,” in *Proceedings - International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN*, Jul. 2019, vol. 2019-July. doi: 10.1109/ICCCN.2019.8847124.

[15] J. F. QUEZADA HARO, “SOFTWARE DEFINED WIDE AREA NETWORKING (SD-WAN) COMO MECANISMO DE SEGURIDAD EN ACCESOS WAN,” MANTA, Mar. 2021. Accessed: May 23, 2021. [Online]. Available: https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/3143/1/77305.pdf

[16] K. Alwasel *et al.*, “IoTSim-SDWAN: A Simulation Framework for Interconnecting Distributed Datacenters over Software-Defined Wide Area Network (SD-WAN),” 2020, doi: 10.1016/j.jpdc.2020.04.006.

[17] Fortinet, “How SD-WAN Secures and Benefits Retailers | Fortinet,” *Artículo Web*, 2021. https://www.fortinet.com/lat/solutions/industries/retail/sd-wan-for-retail (accessed Aug. 14, 2022).

[18] S. Rajagopalan, “An Overview of SD-WAN Load Balancing for WAN Connections,” Nov. 2020. doi: 10.1109/ICECA49313.2020.9297574.

[19] U. Chinaobi and A. Raed Yahya, “A Load Balancing Algorithm for SDN,” *Scholars Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, no. SJET, pp. 527–533, 2016, doi: 10.21276/sjet.2016.4.11.2.

[20] P. Herbert Raj, P. Ravi Kumar, and P. Jelciana, “Load balancing in mobile cloud computing using bin packing’s first fit decreasing method,” *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 888, pp. 97–106, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-03302-6_9.

[21] W. Mansouri, K. ben Ali, F. Zarai, and M. S. Obaidat, “Radio resource management for heterogeneous wireless networks: Schemes and simulation analysis. Schemes and simulation analysis.,” *Modeling and Simulation of Computer Networks and Systems: Methodologies and Applications*, pp. 767–792, Apr. 2015, doi: 10.1016/B978-0-12-800887-4.00027-4.

[22] U. N. A. Oportunidad, P. La, and C. C. González, “Sd-Wan , an Opportunity for Digital Transformation,” no. August, 2020.

[23] “El SD-WAN se perfila como la principal opción en redes para las organizaciones europeas | Seguridad | ComputerWorld,” *Artículo Web*, Nov. 01, 2018. https://www.computerworld.es/seguridad/el-sdwan-se-perfila-como-la-principal-opcion-en-redes-para-las-organizaciones-europeas (accessed Aug. 02, 2022).

[24] M. Pascal, “Pascal Menezes SD-WANs and Lifecycle Service Orchestra8on (LSO) Content,” 2018.

[25] M. A. Cordero Hernández, “TFG_Ulatina_Mario_Cordero_Hernandez,” Jul. 2020.

[26] Fortinet, “Gartner 2021 Magic Quadrant | WAN Edge Infrastructure - Fortinet,” *Artículo Web*, Aug. 2021. https://www.fortinet.com/lat/solutions/gartner-wan-edge (accessed Aug. 25, 2022).

[27] F. Inc, “Fortinet Secure SD-WAN Architecture Components FortiGate Next Generation Firewall Capabilities”.

[28] M. Falch, S. Khajuria, and M. Todorov, “Title: Analysis of Software-Defined Wide-Area Networking,” Jun. 2018.

[29] “Difference between SD-WAN and Traditional WAN,” *Artículo Web*, 2019. https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-SD-WAN-and-Traditional-WAN.html (accessed Aug. 25, 2022).

[30] Telectrónika, “D GNS3 Guía Introductoria: Características y Requerimientos Mínimos,” *Artículo Web*, Apr. 29, 2018. https://www.telectronika.com/articulos/ti/que-es-gns3/ (accessed Aug. 25, 2022).

[31] “Appliances | Marketplace | GNS3,” 2022. https://www.gns3.com/marketplace/appliances (accessed Aug. 27, 2022).

[32] E. Ampuero, M. Pozo, and K. Delgado, “Administración de riesgo laboral en el Ecuador,” *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 3, no. 5, pp. 31–40, 2017. doi: 2588-0705.

[33] D. de García Pérez Lema and F. Javier Martínez García, “Principales riesgos que afectan a las empresas,” *Revista de Contabilidad y Dirección*, vol. 28, pp. 11–26, 2019.

[34] “Casualty Actuarial Society.” https://www.casact.org/ (accessed Jul. 05, 2021).

[35] E. I. Remigio Romero-Valdivieso and J. I. Pablo Cuenca-Tapia, “Implementación de SD-WAN Corporativo para el uso eficiente de las telecomunicaciones para el Holding Quito Motors Implementation of Corporate SD-WAN for the efficient use of telecommunications for the Quito Motors Holding Implementação de SD-WAN Corporati,” *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, ISSN-e 2550-682X, Vol. 5, Nº. Extra 1, 2020 (Ejemplar dedicado a: Noviembre Especial 2020), págs. 163-179*, vol. 5, no. 1, pp. 163–179, 2020, doi: 10.23857/pc.v5i1.1886.

[36] F. A. Carrasco Cabrera, “Diseño y simulación de una red de accesos en GNS3 utilizando la tecnología SD-WAN para medianas empresas en el Ecuador.,” Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Nov. 2020. Accessed: Jun. 14, 2021. [Online]. Available: http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/15699

[37] Y. Chen, Q. Wu, W. Zhang, and Q. Liu, “SD-WAN source route based on protocol-oblivious forwarding,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, Nov. 2018, pp. 69–73. doi: 10.1145/3290480.3290486.

[38] S. Troia, L. M. M. Zorello, A. J. Maralit, and G. Maier, “SD-WAN: An Open-Source Implementation for Enterprise Networking Services,” in *2020 22nd International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Jul. 2020, vol. 2020-July, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICTON51198.2020.9203058.

[39] S. Andromeda and D. Gunawan, “Techno-economic Analysis from Implementing SD-WAN with 4G/LTE, A Case Study in XYZ Company,” in *Proceedings - 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Humanification of Reliable Intelligent Systems, ISITIA 2020*, Jul. 2020, pp. 345–351. doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163762.

[40] P. L. Gallegos-Segovia, J. F. Bravo-Torres, P. E. Vintimilla-Tapia, J. O. Ordonez-Ordonez, R. E. Mora-Huiracocha, and V. M. Larios-Rosillo, “Evaluation of an SDN-WAN controller applied to services hosted in the cloud,” in *2017 IEEE 2nd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2017*, Jan. 2018, vol. 2017-January, pp. 1–6. doi: 10.1109/ETCM.2017.8247478.

[41] “Constitución de la República del Ecuador,” p. 173, 2008.

[42] Consejo de Educación Superior, “LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR, LOES,” Aug. 2018, Accessed: Aug. 27, 2022. [Online]. Available: www.lexis.com.ec

[43] Propiedad Intelectual Registro Oficial, “LEY DE PROPIEDAD INTELECTUAL,” 2014.

[44] Therithal, “Proceso de desarrollo de software unificado o proceso unificado,” 2020. https://www.brainkart.com/article/Unified-Software-Development-Process-or-Unified-Process_9971/ (accessed May 18, 2021).

[45] SurveyMonkey, “¿Qué es la investigación experimental? | SurveyMonkey,” *Artículo Web*, 2020. https://es.surveymonkey.com/mp/que-es-la-investigacion-experimental/ (accessed May 26, 2022).

[46] M. C. en Roberto Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, D. Pilar Baptista Lucio, and M. de la Luz Casas Pérez, “METODOLOGÍA DELA INVESTIGACIÓN,” 1991.

[47] J. F. López, “Estadística descriptiva - Qué es, definición y concepto | 2022 | Economipedia,” *Artículo Web*, Nov. 15, 2019. https://economipedia.com/definiciones/estadistica-descriptiva.html (accessed Aug. 25, 2022).

[48] “Fortinet es nuevamente nombrado Líder en el Cuadrante Mágico de Gartner 2021 para Infraestructura WAN Edge, situándose en el puesto más alto en capacidad de ejecución | TECNASA,” 2021. https://www.tecnasa.com/fortinet-es-nuevamente-nombrado-lider-en-el-cuadrante-magico-de-gartner-2021-para-infraestructura-wan-edge-situandose-en-el-puesto-mas-alto-en-capacidad-de-ejecucion/ (accessed Aug. 25, 2022).

[49] “Reimpresión de Gartner.” https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-27HQWHKN&ct=210920&st=sb&elqTrackId=3d7cf644b4cc418dbf5c13f153fedd2f&elq=f84be2fd8c214f7db549035653a2fd39&elqaid=127&elqat=1&elqCampaignId=&elqcst=272&elqcsid=433 (accessed Aug. 25, 2022).

[50] “Citrix SD-WAN vs Fortinet FortiGate Comparison 2022 | PeerSpot.” https://www.peerspot.com/products/comparisons/citrix-sd-wan_vs_fortinet-fortigate (accessed Aug. 25, 2022).

[51] V. Jain, “Wireshark Fundamentals,” *Wireshark Fundamentals*, 2022, doi: 10.1007/978-1-4842-8002-7.

[52] Exinda, “THE EXINDA VIRTUAL APPLIANCE GUIDE ADMINISTRATION GUIDE,” 2021.

[53] H. Lin, “Research on packet loss issues in unidirectional transmission,” *Journal of Computers (Finland)*, vol. 8, no. 10, pp. 2664–2671, 2013, doi: 10.4304/JCP.8.10.2664-2671.

[54] M. S. Khan, S. Waris, I. Ali, M. I. Khan, and M. H. Anisi, “Mitigation of Packet Loss Using Data Rate Adaptation Scheme in MANETs,” *Mobile Networks and Applications 2016 23:5*, vol. 23, no. 5, pp. 1141–1150, Dec. 2016, doi: 10.1007/S11036-016-0780-Y.

[55] “Calculating network efficiency using packet loss and retransmitted data,” *Sección de Libro*, 2020. https://manuals.gfi.com/en/exinda/help/content/exos/how-stuff-works/packet-loss.htm (accessed Aug. 30, 2022).

[56] Exinda, “Exinda SD-WAN,” *Artículo Web*, 2021. https://manuals.gfi.com/en/exinda/help/content/exos/all-products/sd-wan/intro-exinda-sdwan.htm (accessed Aug. 30, 2022).

ANEXOS

Software Mendeley con todos los documentos revisados.

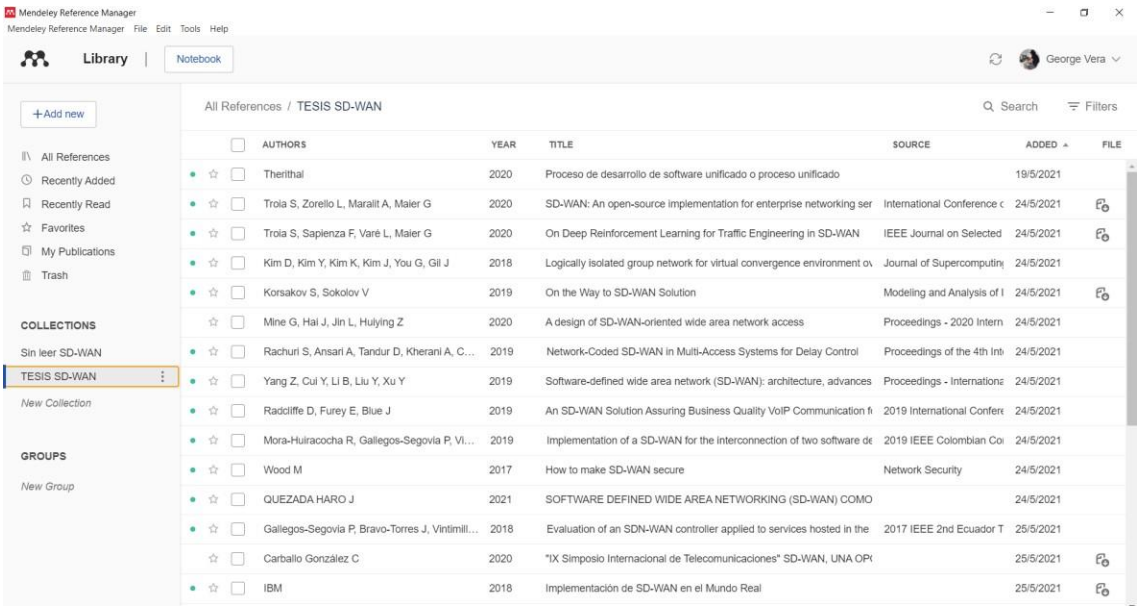

Figura 30 Resultado de la Revisión Bibliográfica sobre SD-WAN

Herramientas Utilizadas para la simulación

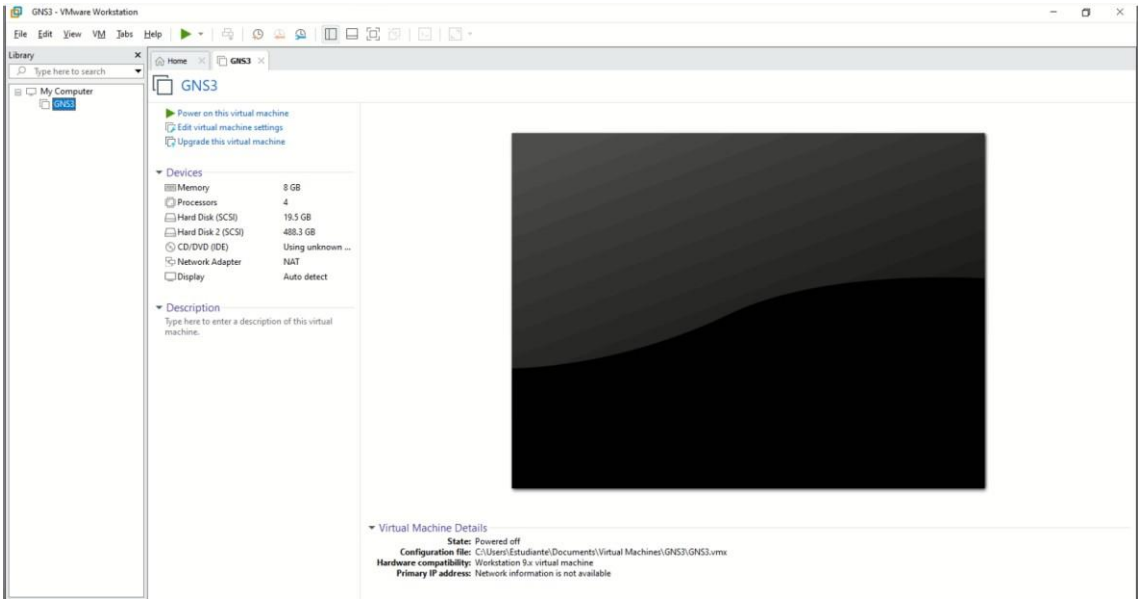

Figura 31 Anexos - Máquina Virtual GNS3 en VMware

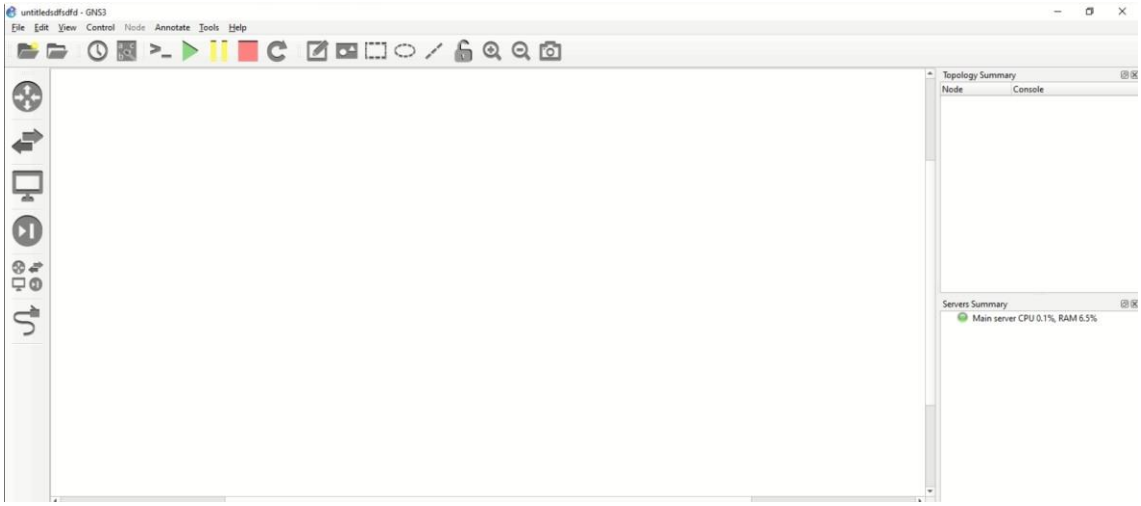

Figura 32 Software GNS3

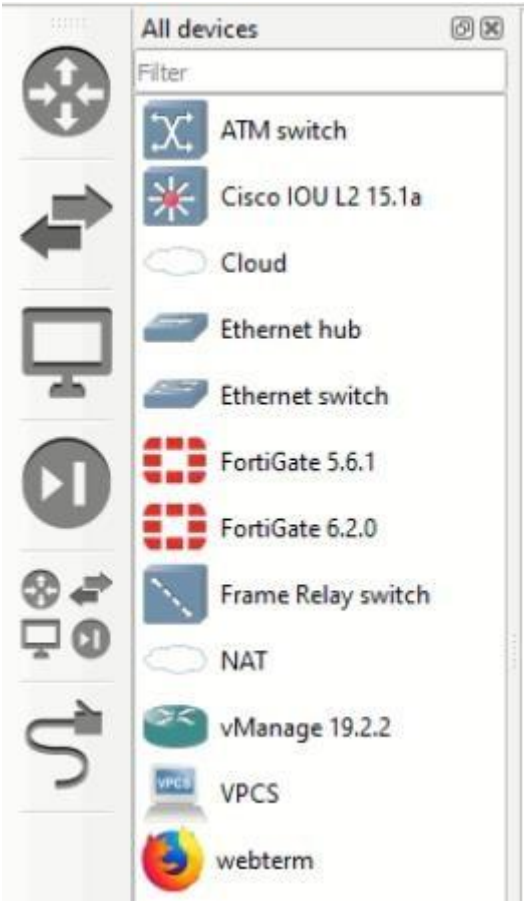

Figura 33 Herramientas utilizadas para la Simulación

Construcción del Prototipo de la red SD-WAN

Equipo Fortigate 1.

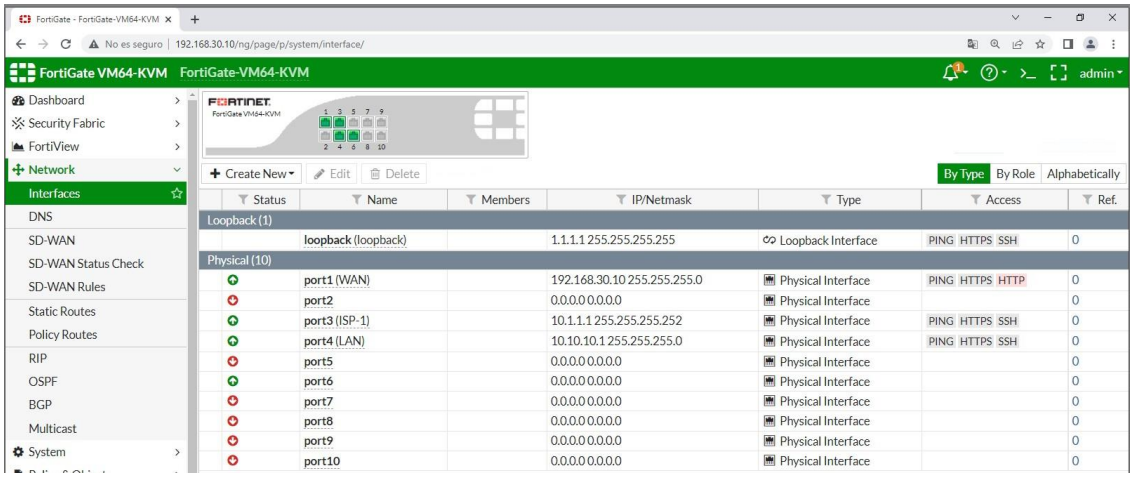

Figura 34 Interfaces conectadas al Fortigate1

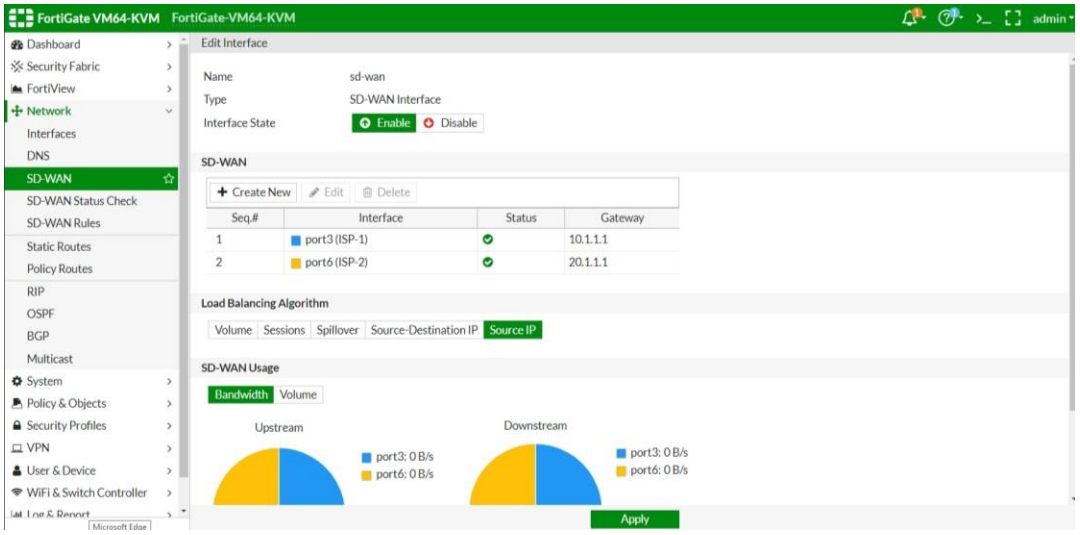

Figura 35 Conectando puertos para función SD-WAN

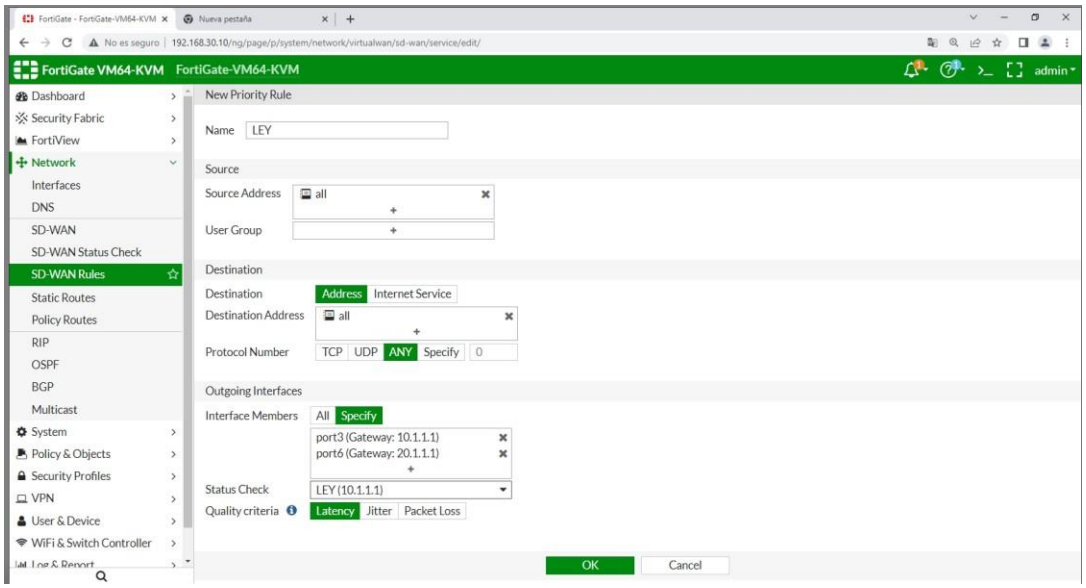

Figura 36 Creación de las Reglas SD-WAN

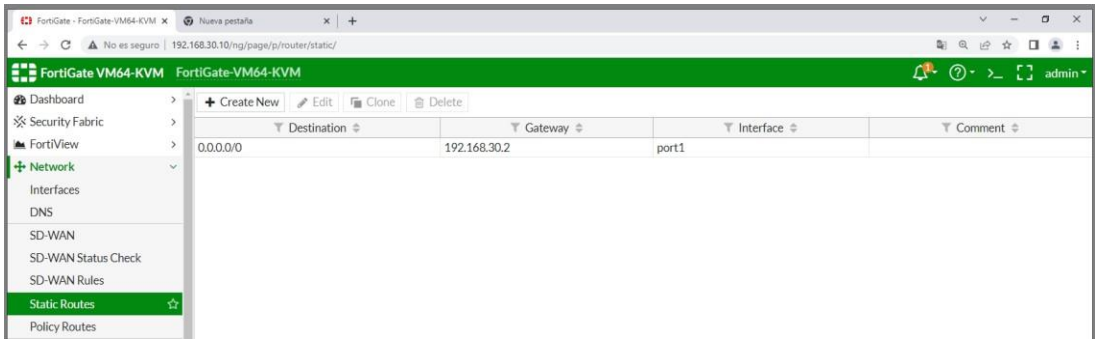

Figura 37 Rutas Estáticas

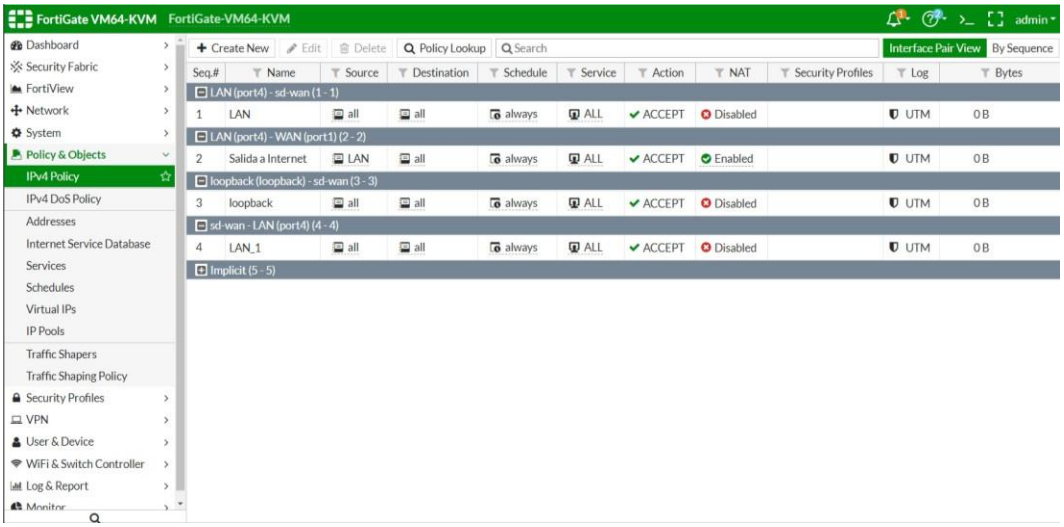

Figura 38 Ipv4 Policy

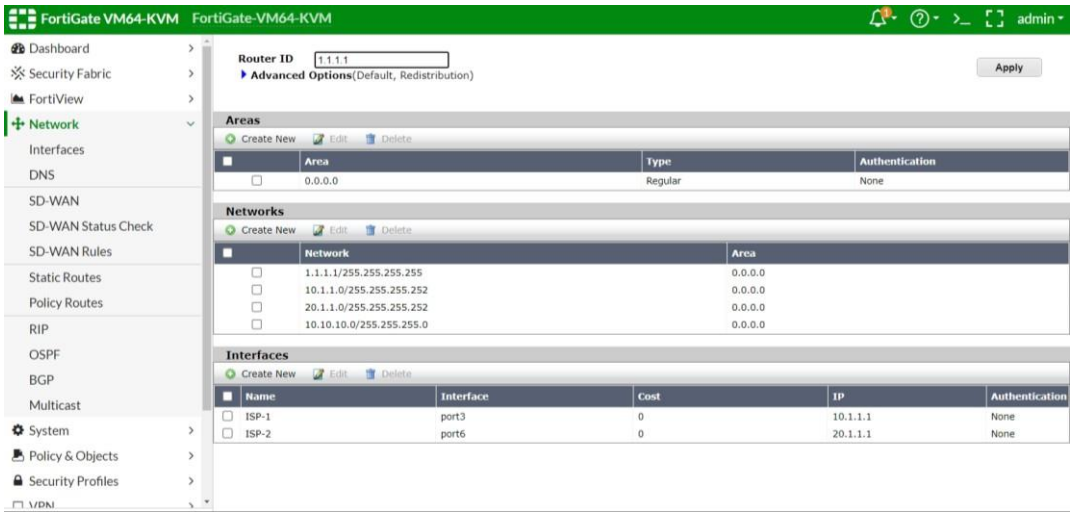

Figura 39 Routering

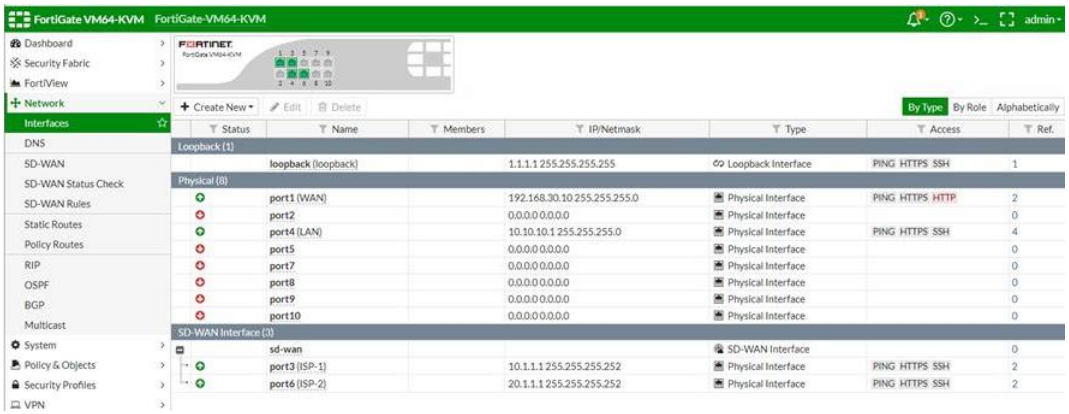

Figura 40 Interfaces Completas

Fortigate 2

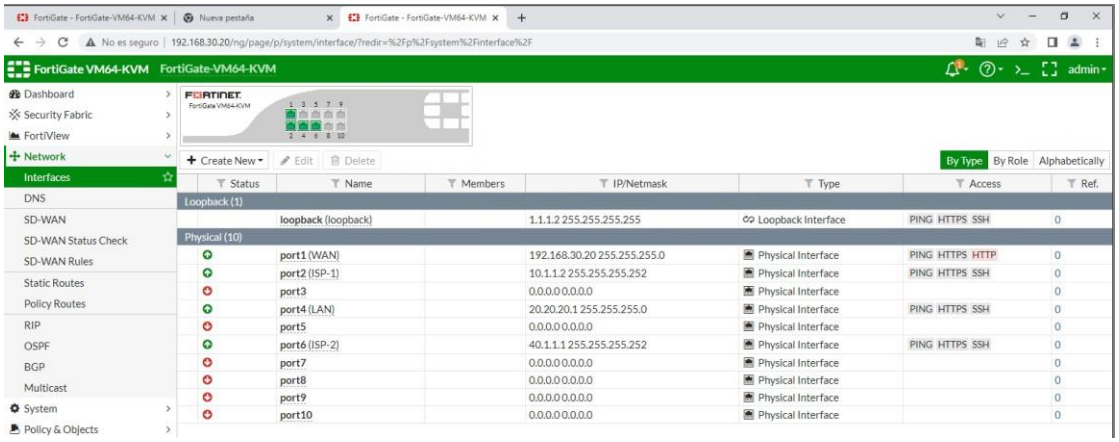

Figura 41 Interfaces Fortigate 2.

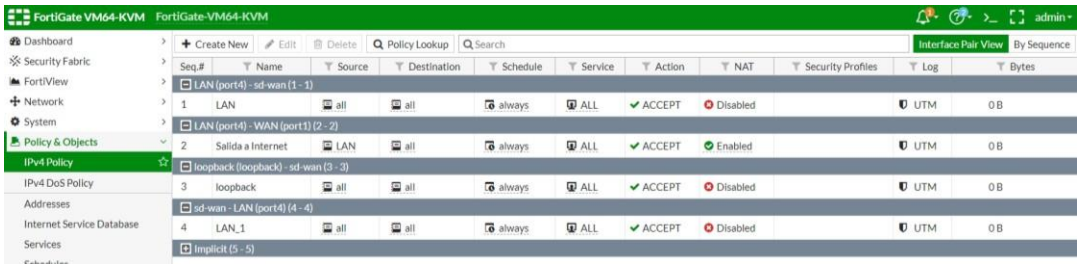

Figura 42 Políticas de IPV2 – 2do Router

3er FORTIGATE

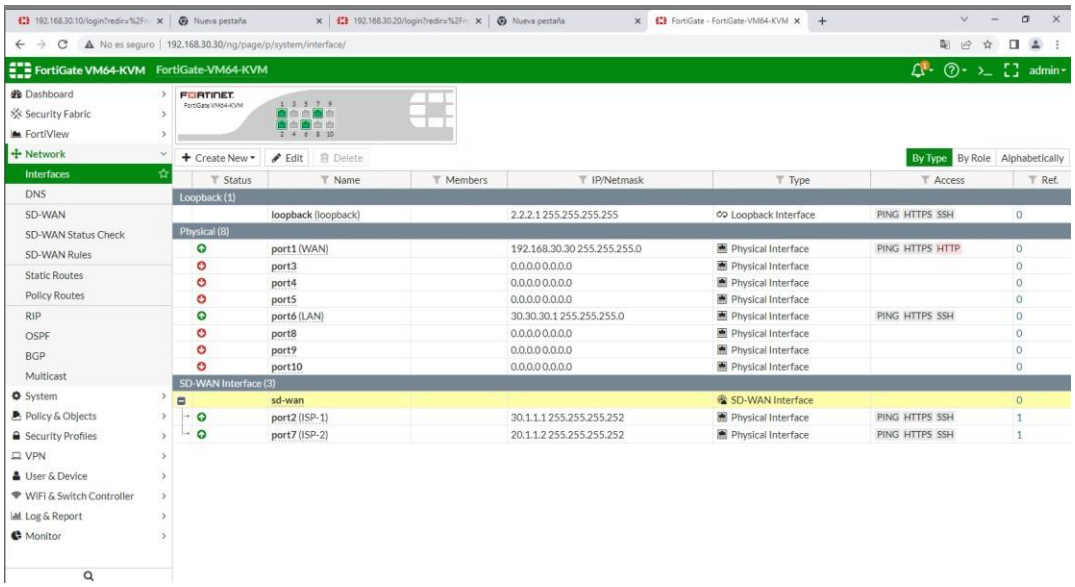

Figura 43 Interfaces

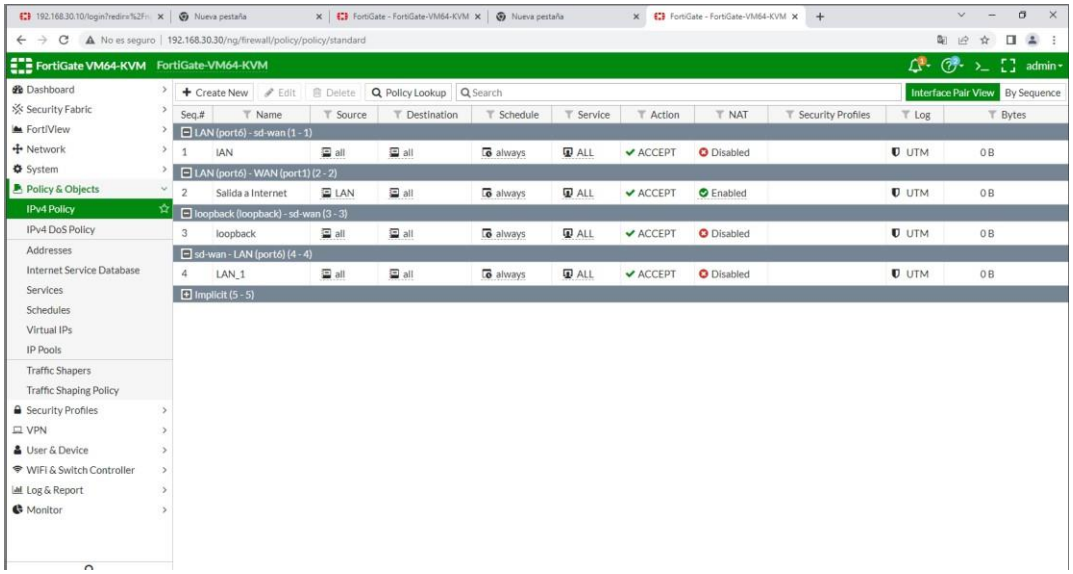

Figura 44 Ipv4 Redes - FortiGate 3

4to Fortigate

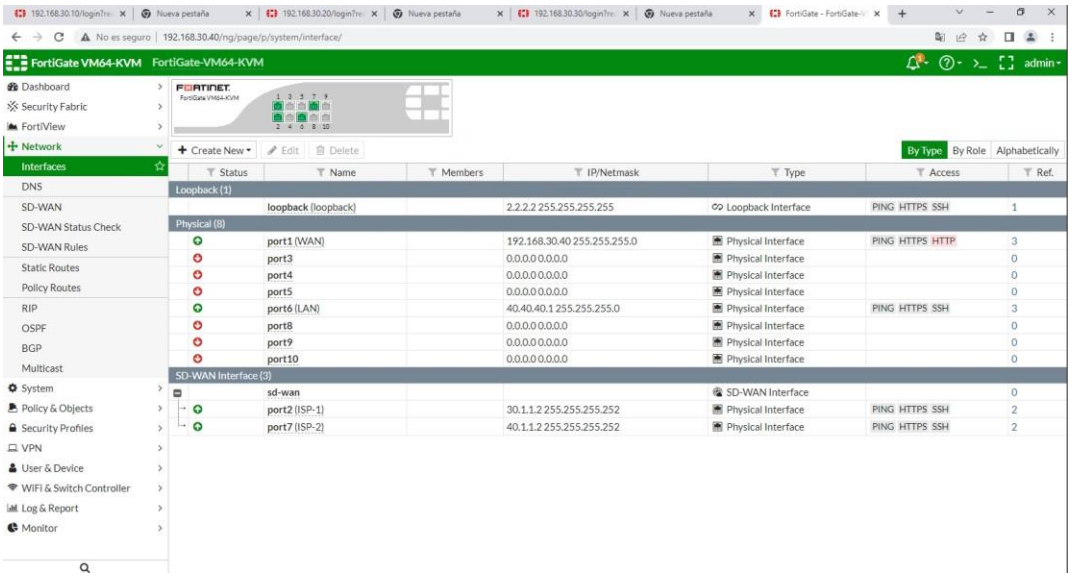

Figura 45 Interfaces Fortigate 4

Red SDWAN-OSPF

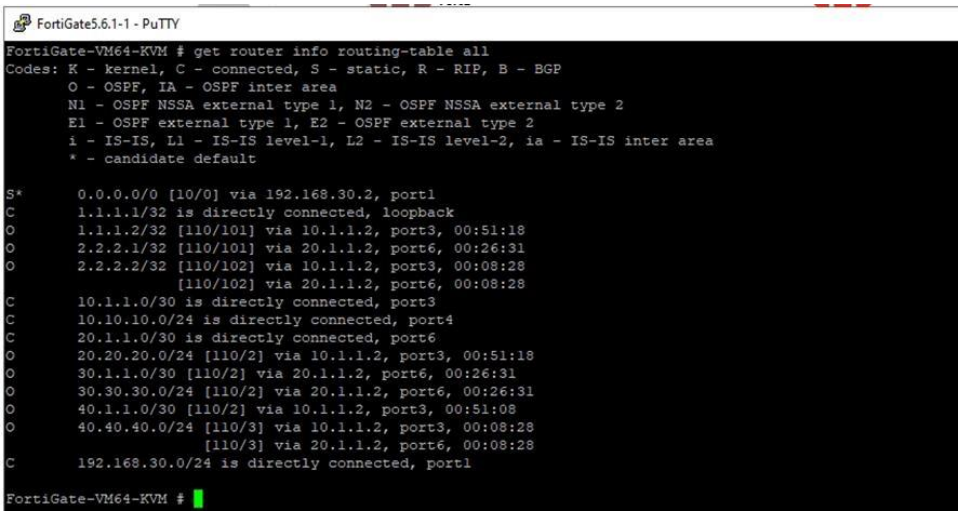

Figura 46 Conexiones del Fortigate 1

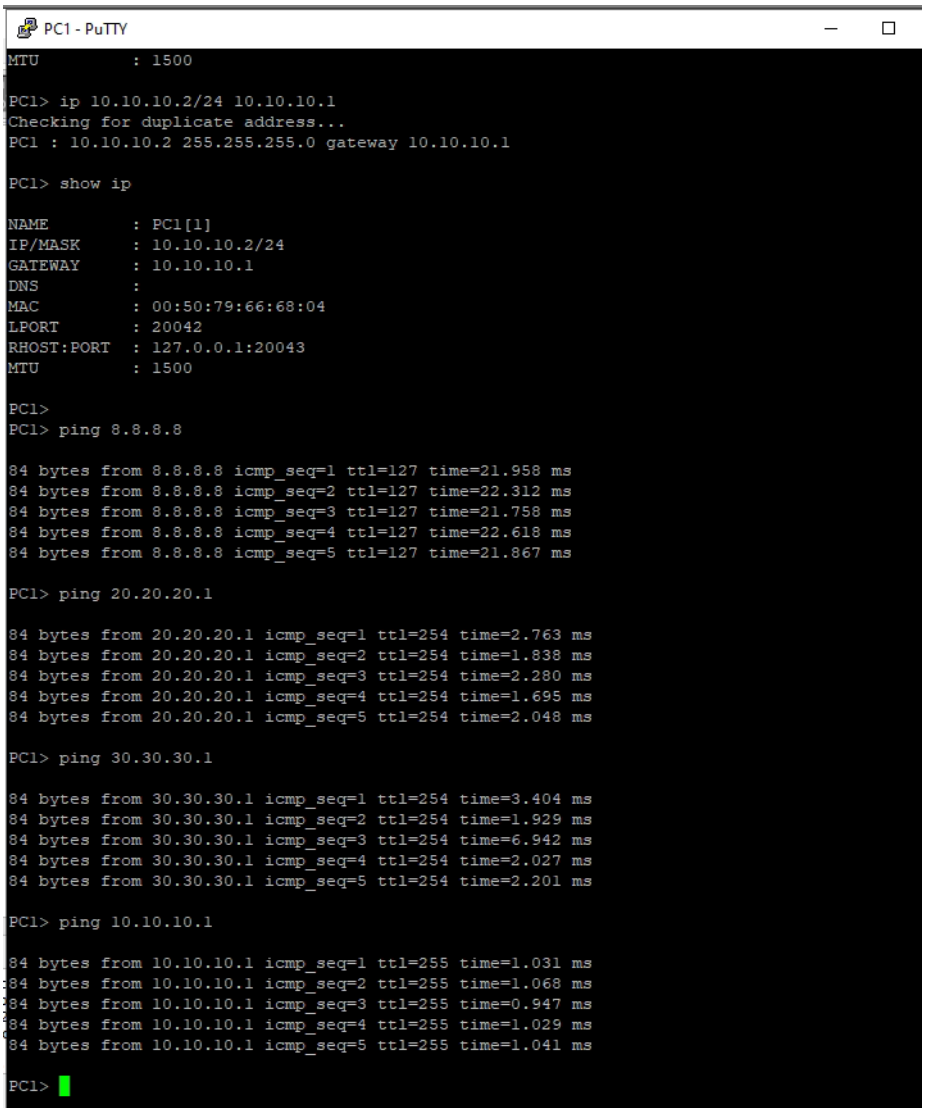

Figura 47 Ping a todos los dispositivos desde la Pc1

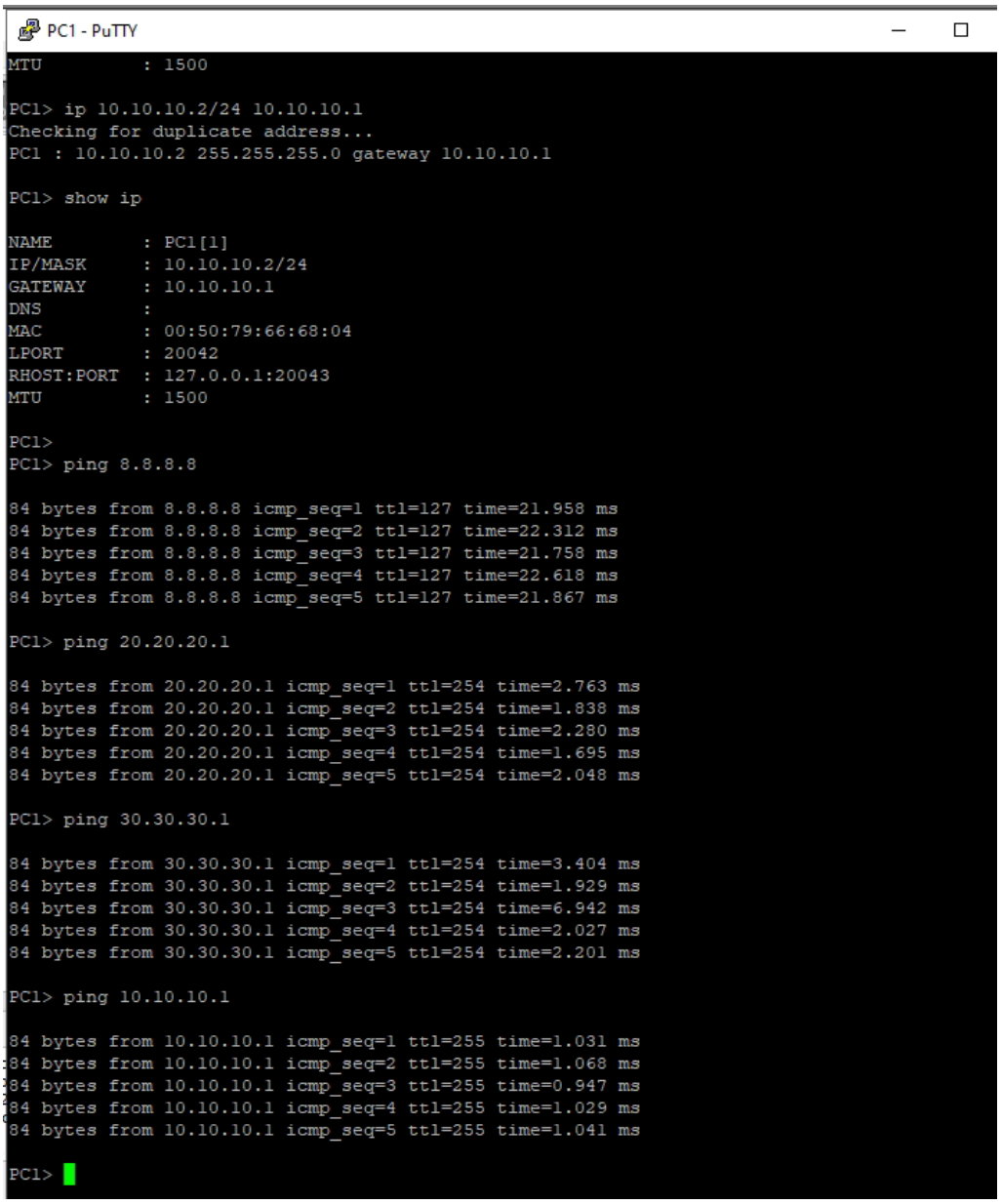

Figura 48 Conexiones a las demás redes

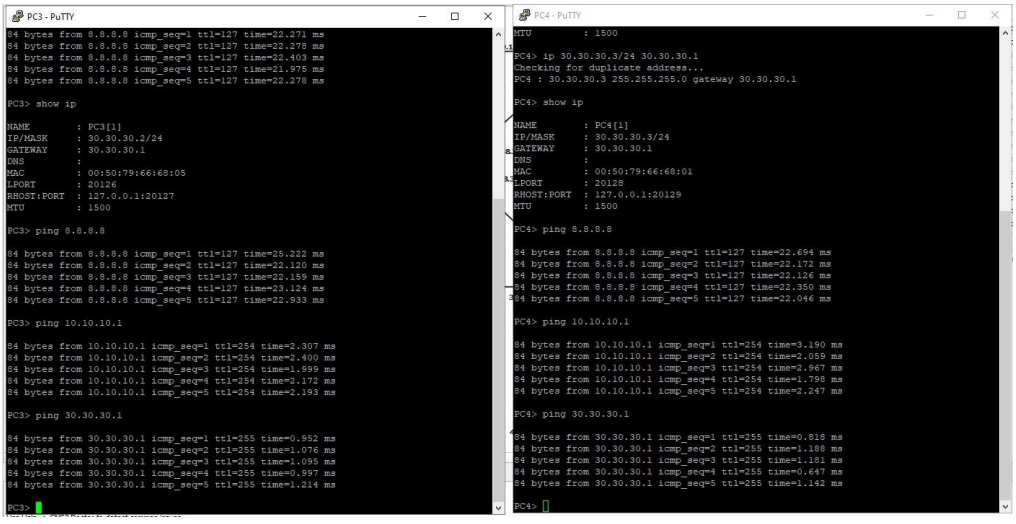

Figura 49 Ping entre Dispositivos Pc3 y Pc4

Fortigate 4

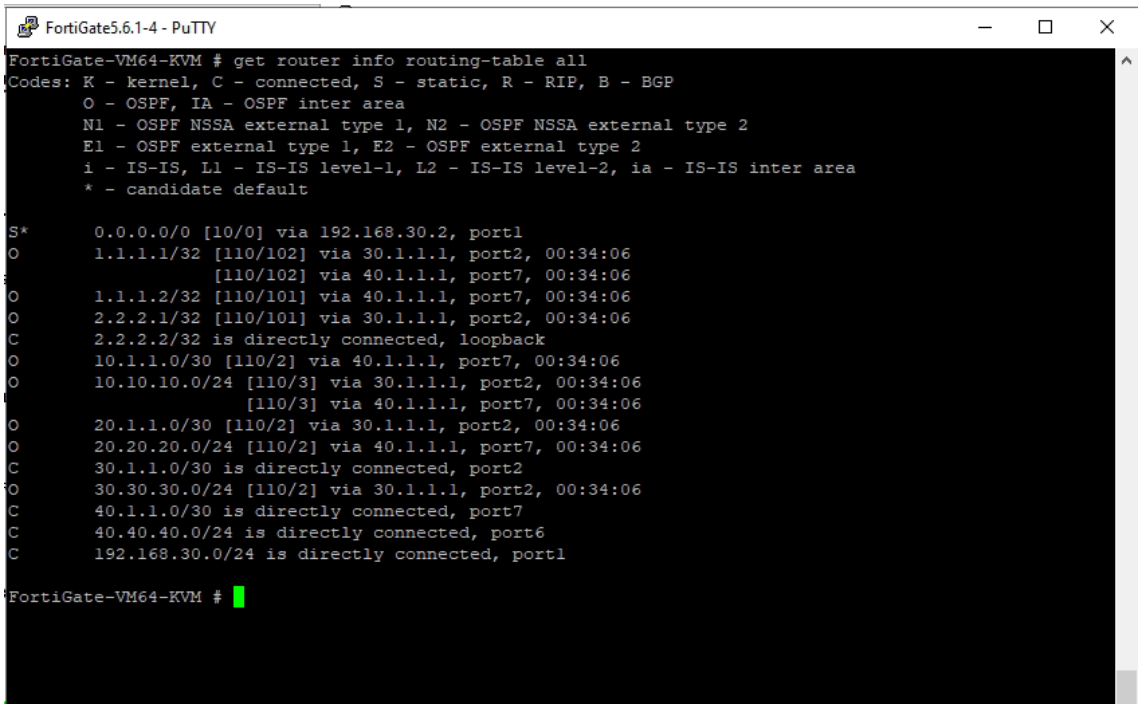

Figura 50 Todas las redes en el Fortigate4