

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE  
ACELERACIÓN WAN DE UNA PLATAFORMA DE PRODUCTIVIDAD  
EN LA NUBE PARA UN ENTORNO EMPRESARIAL A TRAVÉS DE  
INTERNET**

Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de las Telecomunicaciones que  
presenta el bachiller:

**Renato David Pérez Gutierrez**

**Asesor:** Mg. Antonio Ocampo Zúñiga

**Lima, julio de 2020**

## RESUMEN

La presente tesis consiste en brindar una propuesta técnica para el acceso optimizado a una plataforma de productividad y colaboración en la nube a través de Internet, a través del estudio y comparativa de las diversas alternativas existentes en el mercado y su posterior sometimiento a pruebas. En el capítulo 1 se presenta el mercado actual de las principales plataformas de productividad y colaboración en la nube, así como su principal problemática en cuanto al acceso por parte de los usuarios finales a través de Internet. Asimismo, se detallan los objetivos a cubrir en la presente tesis. En el capítulo 2 se repasa el marco teórico con los principales conceptos y definiciones necesarios para el mejor entendimiento de los temas planteados en la presente tesis. En el capítulo 3 se menciona el estado del arte y se muestran las principales alternativas de solución existentes en el ámbito del sector empresarial. En el capítulo 4 se estudia detalladamente las alternativas de solución mencionadas en el anterior capítulo y se las evalúa en función a criterios determinados para así poder implementarla. Adicionalmente, se estudia al detalle el funcionamiento de esta solución. En el capítulo 5 se implementa la solución propuesta y se ejecutan las pruebas de desempeño para su posterior discusión de resultados y comparación con los valores esperados. Asimismo, se evalúa el impacto económico analizado desde el punto de vista de un integrador local de servicios de telecomunicaciones y se analiza la rentabilidad del proyecto.

## ÍNDICE

LISTA DE TABLAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO 1 .....	11
FUNDAMENTO DE LA TESIS .....	11
1.1    Computación en la nube: mercado actual .....	11
1.1.1    Ingresos anuales del mercado de nube .....	12
1.1.2    Principales aplicaciones SaaS .....	13
1.1.3    Plataformas de productividad.....	14
1.2    Definición del problema y justificación.....	15
1.3    Objetivo de la tesis.....	16
1.3.1    Objetivos específicos .....	16
CAPÍTULO 2.....	17
MARCO TEÓRICO .....	17
2.1    Wide Area Networks (WAN).....	17
2.1.1    WAN híbrida .....	18
2.2    Computación en la nube .....	18
2.2.1    Infraestructura como Servicio (IaaS).....	19
2.2.2    Plataforma como Servicio (PaaS) .....	19
2.2.3    Software como Servicio (SaaS) .....	19
2.3    Plataformas de productividad y colaboración .....	20
2.3.1    Procesador de texto.....	20
2.3.2    Hojas de cálculo .....	21
2.3.3    Almacenamiento y sitios de grupo .....	22
2.4    Protocolo TCP .....	22
2.4.1    Establecimiento de la conexión.....	22
2.4.2    Transferencia de datos .....	23
2.4.3    Liberación de la conexión .....	23
2.4.4    Ventana TCP .....	24
2.4.5    TCP Slow-start.....	24
2.5    Protocolo SSL.....	25
2.5.1    Protocolo HTTP .....	26
CAPÍTULO 3.....	27
ESTADO DEL ARTE Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	27
3.1    Estado del arte.....	27
3.2    Alternativas de solución .....	29
3.2.1    Incremento del ancho de banda.....	29
3.2.2    Gestión de red interna .....	29
3.2.3    Aplicación de las recomendaciones del fabricante.....	30
3.2.4    Uso de Redes de Distribución de Contenido.....	32
3.2.5    Uso de aceleradores WAN.....	32
CAPÍTULO 4.....	34
PROPUESTA Y ESTUDIO DE LA SOLUCIÓN .....	34
4.1    Elección de la solución propuesta.....	34

4.1.1	Criterios de elección .....	34
4.1.2	Evaluación de alternativas de solución .....	35
4.1.3	Resultados de la evaluación .....	37
4.1.4	Elección de acelerador WAN .....	37
4.1.4.1	Criterios de elección de acelerador WAN.....	38
4.1.4.2	Descripción de aceleradores WAN .....	40
4.1.4.2.1	Cisco Systems.....	40
4.1.4.2.2	Silver Peak .....	41
4.1.4.2.3	Citrix .....	43
4.1.4.2.4	GFI Software (Exinda) .....	45
4.1.4.2.5	Broadcom (Symantec / BlueCoat Systems) .....	46
4.1.4.2.6	Riverbed Technology.....	47
4.1.4.2.7	Sangfor Technologies.....	49
4.1.4.2.8	Aryaka .....	49
4.1.4.2.9	Soluciones de software libre .....	50
4.1.4.3	Evaluación de aceleradores WAN.....	50
4.1.4.4	Resultados de la evaluación del acelerador WAN.....	53
4.2	Estudio de la solución propuesta .....	54
4.2.1	Despliegue en serie .....	54
4.2.2	Características de aceleración.....	55
4.2.2.1	Optimización de datos .....	55
4.2.2.2	Optimización de transporte .....	56
4.2.2.3	Optimización de aplicación .....	57
4.2.2.3.1	Optimización HTTP.....	57
4.2.2.3.2	Optimización SSL .....	58
4.2.3	Políticas de aceleración .....	59
4.2.4	Aceleración de Office 365.....	60
4.2.4.1	Gestión de certificados .....	62
CAPÍTULO 5.....		64
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO .....		64
5.1	Implementación .....	64
5.1.1	Topología de red e información preliminar .....	64
5.1.2	Configuración del acceso a Office 365.....	67
5.1.3	Configuración del firewall.....	68
5.1.4	Configuración del acelerador WAN local.....	69
5.1.5	Configuración del acelerador WAN (cloud-hosted) .....	72
5.1.6	Configuración de la estación de trabajo .....	74
5.2	Pruebas de desempeño .....	75
5.2.1	Prueba 1: archivo .pptx .....	77
5.2.2	Prueba 2: archivo .mp3.....	80
5.2.3	Prueba 3: archivo .MOV.....	83
5.2.4	Discusión de resultados .....	87
5.3	Evaluación de impacto económico.....	89
5.3.1	Escenario.....	90
5.3.2	Recursos técnicos .....	90
5.3.2.1	Acelerador WAN .....	90
5.3.2.2	Suscripción a aceleración SaaS .....	90

5.3.2.3 Topología de red .....	91
5.3.3 Plan de trabajo.....	91
5.3.3.1 Etapas del proyecto .....	91
5.3.3.2 Desarrollo del proyecto.....	91
5.3.4 Aspecto económico.....	92
5.3.4.1 Costo por equipamiento.....	92
5.3.4.2 Costo por servicios .....	92
5.3.5 Análisis de rentabilidad .....	93
CONCLUSIONES .....	95
RECOMENDACIONES .....	96
TRABAJOS FUTUROS.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1- 1: Ingresos anuales del mercado de nube a nivel mundial (en miles de millones de dólares).....	12
Tabla 3- 1: Técnicas para mejorar el rendimiento de red y aplicaciones. ....	28
Tabla 4- 1: Criterio de asignación de puntajes. ....	35
Tabla 4- 2: Evaluación de alternativas de solución.....	36
Tabla 4- 3: Asignación de puntajes. ....	37
Tabla 4- 4: Solución de Cisco WAAS para deficiencias de la WAN.....	40
Tabla 4- 5: Tipos de aplicaciones optimizadas por Silver Peak NX. ....	42
Tabla 4- 6: Características y beneficios de la solución Citrix SD-WAN.....	44
Tabla 4- 7 : Despliegues de solución de aceleración de Riverbed.....	47
Tabla 4- 8: Criterio de asignación de puntajes según ubicación en el Cuadrante Mágico de Gartner.....	51
Tabla 4- 9: Evaluación de aceleradores WAN.....	52
Tabla 4- 10: Asignación de puntajes a fabricantes. ....	53
Tabla 4- 11: Interfaces del acelerador SteelHead CX.....	55
Tabla 4- 12: Descripción de in-path rules. ....	60
Tabla 4- 13: Componentes de la solución SteelHead SaaS.....	61
Tabla 5- 1: Componentes necesarios para emulación.....	65
Tabla 5- 2: Direccionamiento IP de redes de la topología. ....	66
Tabla 5- 3: Direccionamiento IP de interfaces. ....	66
Tabla 5- 4: Factores de medición y pruebas. ....	75
Tabla 5- 5: Resumen de pruebas para descarga de archivo .pptx.....	80
Tabla 5- 6: Resumen de pruebas para descarga de archivo .mp3 .....	83
Tabla 5- 7: Resumen de pruebas para descarga de archivo .MOV .....	87
Tabla 5- 8: Costos por equipamiento y licencias por 1 año. ....	92
Tabla 5- 9: Costos por servicios y soporte. ....	93
Tabla 5- 10: Flujo de caja del proyecto.....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- 1: Adopción de tipo de infraestructura en nube al 2019. ....	12
Figura 1- 2: Proyección de ingresos anuales del mercado SaaS. ....	13
Figura 1- 3: Adopción promedio de tipos de aplicaciones SaaS para todas las industrias... 13	
Figura 1- 4: Adopción de las principales plataformas de productividad del mercado en los últimos 6 años.....	14
Figura 2- 1: Wide Area Network (WAN) híbrida.....	18
Figura 2- 2: Plataformas de productividad y colaboración más populares. ....	20
Figura 2- 3: Interfaz gráfica de Google Docs.....	21
Figura 2- 4: Interfaz gráfica de Microsoft Excel. ....	21
Figura 2- 5: Interfaz gráfica de Google Drive.....	22
Figura 2- 6: Flujo de establecimiento de conexión TCP. ....	23
Figura 2- 7: Flujo de liberación de conexión TCP.....	24
Figura 2- 8 : Cruce entre ventanas TCP de recepción y de envío. ....	24
Figura 2- 9: Flujo de la fase Handshake SSL con autenticación de cliente.....	25
Figura 2- 10: Parámetros HTTP en un mensaje “request”.....	26
Figura 3- 1: Funcionamiento tradicional de la técnica de de-duplicación.....	28
Figura 3- 2: Resolución DNS local de Office 365. ....	31
Figura 3- 3: Evitamiento de dispositivos de seguridad en el acceso a Office 365.....	31
Figura 3- 4: Ejemplo de una Red de Distribución de Contenido. ....	32
Figura 3- 5: Túnel de optimización entre aceleradores WAN.....	33
Figura 4- 1 : Cuadrante Mágico de Gartner 2016 – Optimización WAN.....	38
Figura 4- 2: Despliegue de la solución Cisco WAAS integrada al ISR.....	40
Figura 4- 3: Escenario de aceleración con WAN de tipo backhauled. ....	41
Figura 4- 4: Arquitectura de aceleración de Office 365 con Silver Peak. ....	43
Figura 4- 5: Topología de aceleración con WAN Definida por Software. ....	43
Figura 4- 6: Escenario de aceleración SaaS con WAN de tipo backhauled.....	45
Figura 4- 7: Integración entre Web Security Service de Broadcom y Office 365.....	47
Figura 4- 8: Tipos de despliegues de la solución de aceleración WAN de Riverbed. ....	48
Figura 4- 9: Servicio SmartCONNECT SD-WAN para acceso optimizado a Office 365.....	50
Figura 4- 10: Despliegue de SteelHead en serie. ....	54
Figura 4- 11: De-duplicación de data y referenciación escalable de datos. ....	56
Figura 4- 12: Pool de conexiones TCP preestablecidas. ....	57
Figura 4- 13: Flujo para establecimiento de conexión SSL entre cliente, servidor y aceleradores. ....	59
Figura 4- 14: Proceso de optimización SSL. ....	59

Figura 4- 15: Esquema de funcionamiento de solución SteelHead SaaS.....	62
Figura 4- 16: Portal en nube de Riverbed.....	63
Figura 5- 1: Topología general de red. ....	65
Figura 5- 2: Topología propuesta para emulación de red. ....	67
Figura 5- 3: Estado de cuenta de Office 365 Enterprise E3 y aplicaciones.....	67
Figura 5- 4: Configuración de direccionamiento IP del firewall. ....	68
Figura 5- 5: Configuración de enrutamiento estático del firewall. ....	68
Figura 5- 6: Configuración de política de salida a Internet.....	68
Figura 5- 7: Conectividad del firewall a Internet.....	69
Figura 5- 8: Direccionamiento IP en la interfaz In-path (LAN-WAN). ....	69
Figura 5- 9: Direccionamiento IP de la interfaz primary. ....	70
Figura 5- 10: Conectividad a Internet de la interfaz in-path. ....	70
Figura 5- 11: Conectividad a Internet de la interfaz primary. ....	70
Figura 5- 12: Políticas de optimización hacia la nube.....	71
Figura 5- 13: Configuración de optimización HTTP. ....	71
Figura 5- 14: Certificado digital para emparejamiento con acelerador en nube. ....	72
Figura 5- 15: Certificado digital del acelerador en nube aceptado en el SteelHead local.....	72
Figura 5- 16: Conexión activa con el acelerador on-premise.....	73
Figura 5- 17: Conexión activa del SteelHead local con el portal en nube de Riverbed. ....	73
Figura 5- 18: Servicios de Office 365 activos para aceleración. ....	74
Figura 5- 19: Direccionamiento IP de la estación de trabajo.....	74
Figura 5- 20: Conectividad a Internet de la estación de trabajo.....	74
Figura 5- 21: Configuración de limitación de tráfico en el firewall. ....	75
Figura 5- 22: Resultados de pruebas de traffic shaping a 30, 5 y 2 Mbps aproximadamente. .....	76
Figura 5- 23: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .pptx a 30 Mbps. .....	77
Figura 5- 24: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .pptx a 5 Mbps.	78
Figura 5- 25: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .pptx a 2 Mbps.	79
Figura 5- 26: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .mp3 a 30 Mbps. .....	80
Figura 5- 27: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .mp3 a 5 Mbps.	81
Figura 5- 28: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .mp3 a 2 Mbps.	82
Figura 5- 29: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .MOV a 30 Mbps. .....	84
Figura 5- 30: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .MOV a 5 Mbps. .....	85

Figura 5- 31: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .MOV a 2 Mbps.  
..... 86

Figura 5- 32: Tiempos de descarga de archivo .MOV a 2 Mbps en la WAN. .... 88

Figura 5- 33: Tiempos de descarga de archivo .mp3 a 5 Mbps en la WAN. .... 89

Figura 5- 34: Tiempos estimados del proyecto..... 91



## INTRODUCCIÓN

La gran adopción del uso de aplicaciones web en los últimos años, ya sea que estén hospedadas dentro de la empresa, en alguna nube pública o mediante el uso de aplicaciones de tipo Software como Servicio (SaaS), ha ido transformando la forma en la que estas son desarrolladas y accedidas por los usuarios. Asimismo, cada vez son más las empresas que optan por migrar buena parte de la infraestructura física de su data center hacia la nube, con lo cual se evidencia una mayor apertura al uso de la red WAN como medio de transporte de información que no solo puede ser sensible, sino que además debe ser enviada de manera óptima y superando todos los inconvenientes propios de su naturaleza, como lo son la saturación de ancho de banda, la elevada latencia, pérdida de paquetes, entre otros.

En particular, en lo que respecta al uso de la nube pública se ha evidenciado una tendencia aun mayor en la utilización de las aplicaciones SaaS, en cuyo caso es la red WAN pública de Internet la que hace de medio de transporte de toda la data. En la mayoría de los casos, las aplicaciones SaaS utilizadas a nivel empresarial suelen ser aquellas pertenecientes a las denominadas plataformas de productividad y colaboración, en cuyo mercado actual tienen predominancia las compañías Microsoft con su producto Office 365 y Google con G-Suite. En ambos casos, las aplicaciones que conforman estas plataformas son de vital importancia, pues son consideradas como críticas para el negocio sin importar el rubro en el que la empresa se desarrolle. Por lo tanto, resulta indispensable que la adopción del uso de estas aplicaciones a través de Internet tenga en cuenta sus deficiencias e involucre una adecuada solución de optimización en la forma en la que son accedidas por los usuarios. Es ante esta necesidad que el uso de aceleradores WAN aparecen como una solución conveniente.

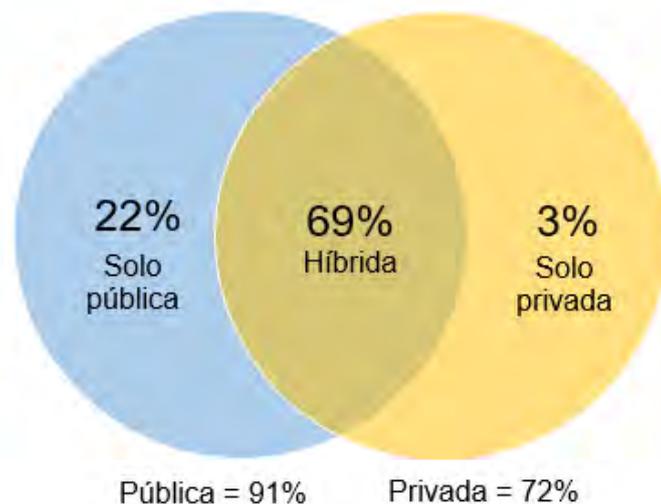


## **CAPÍTULO 1**

### **FUNDAMENTO DE LA TESIS**

#### **1.1 Computación en la nube: mercado actual**

En los últimos años ha existido una tendencia por parte de todo tipo de empresas a considerar la migración de sus servicios de los clásicos centros de datos hacia infraestructura alojada en la nube. Según un estudio a cargo de la empresa consultora Flexera de 2019, al día de hoy un 94% de empresas a lo largo del mundo ya se han ido integrando a la computación en la nube en al menos uno de sus modelos: Infraestructura como Servicio (IaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) y Software como Servicio (SaaS) [1]. Asimismo, según este estudio este porcentaje está repartido entre usos de nubes públicas (22%), privadas (3%) o híbridas (69%), tal como se aprecia en la figura 1-1.



**Figura 1- 1: Adopción de tipo de infraestructura en nube al 2019.**

Elaboración propia basada en [1].

### 1.1.1 Ingresos anuales del mercado de nube

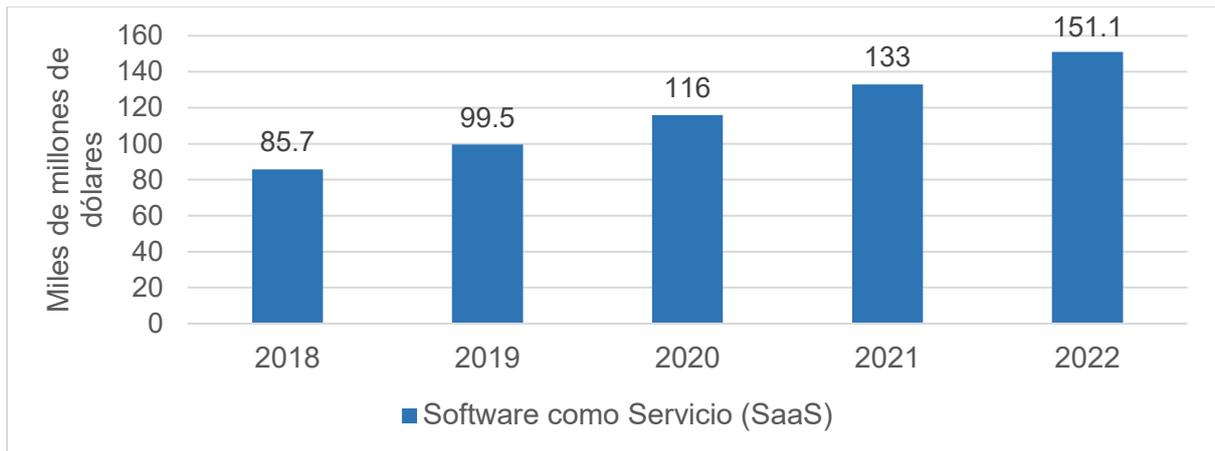
Un reciente informe de la consultora Gartner en [2] confirma esta misma tendencia evidenciando el aumento en ingresos del mercado de servicios en nube a nivel mundial durante los últimos años en esos tres modelos y con proyección hasta el 2022, tal como se observa en la tabla 1-1.

**Tabla 1- 1: Ingresos anuales del mercado de nube a nivel mundial (en miles de millones de dólares).**

Elaboración propia basada en [2].

Modelo	2018	2019	2020	2021	2022
Infraestructura como Servicio (IaaS)	32.4	40.3	50.0	61.3	74.1
Plataforma como Servicio (PaaS)	26.4	32.2	39.7	48.3	58.0
Software como Servicio (SaaS)	85.7	99.5	116.0	133.0	151.1
<b>Total</b>	<b>144.5</b>	<b>172.0</b>	<b>205.7</b>	<b>242.6</b>	<b>283.2</b>

Del análisis de la tabla no solo se observa un continuo crecimiento de los ingresos anuales en el mercado de nube en general, sino también que, en particular, para el modelo de Software como Servicio (SaaS) se tiene un mercado aun mayor, tal como se aprecia en la figura 1-2. Esto debido a la gran variedad de compañías terceras que montan sus aplicaciones sobre esta infraestructura de nube existente y que ofrecen servicios a los clientes finales bajo un modelo de negocio de suscripción periódica. En ese sentido, Gartner estima que las ventas relacionadas a servicios de este modelo crecerán hasta \$151.1 mil millones en el 2022 [2], lo cual es equivalente a una tasa de crecimiento anual de 15.24%.

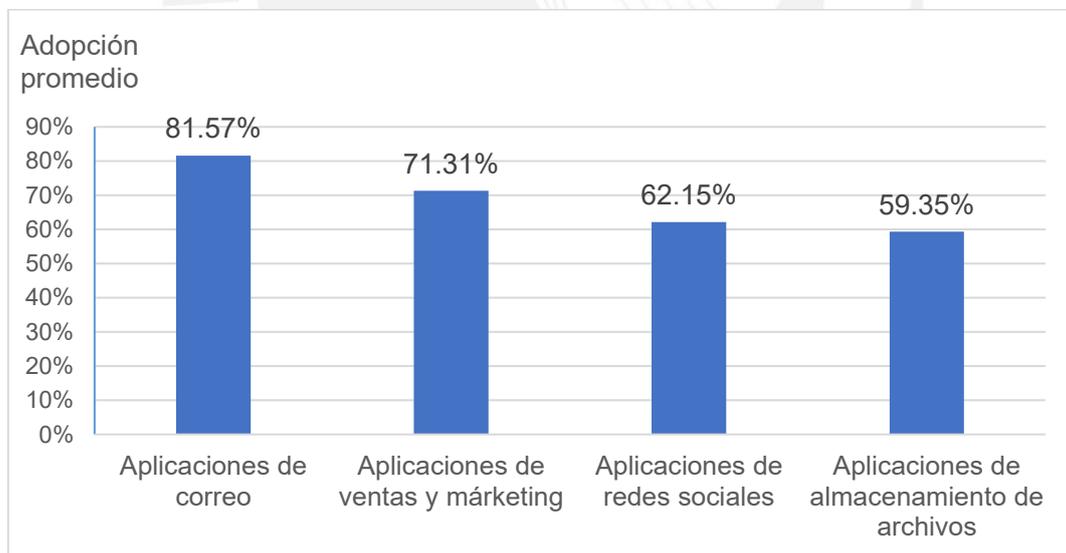


**Figura 1- 2: Proyección de ingresos anuales del mercado SaaS.**

Elaboración propia basada en [2].

### 1.1.2 Principales aplicaciones SaaS

Por otro lado, al considerar el uso de categorías de aplicaciones de nube de acuerdo al tipo de industria, un reporte de la consultora Okta Inc. en [3] informa que el principal núcleo de negocio de las empresas o instituciones de estos rubros recae en las aplicaciones SaaS de tipo correo, almacenamiento de archivos, redes sociales y ventas tal como se muestra en la figura 1-3.



**Figura 1- 3: Adopción promedio de tipos de aplicaciones SaaS para todas las industrias.**

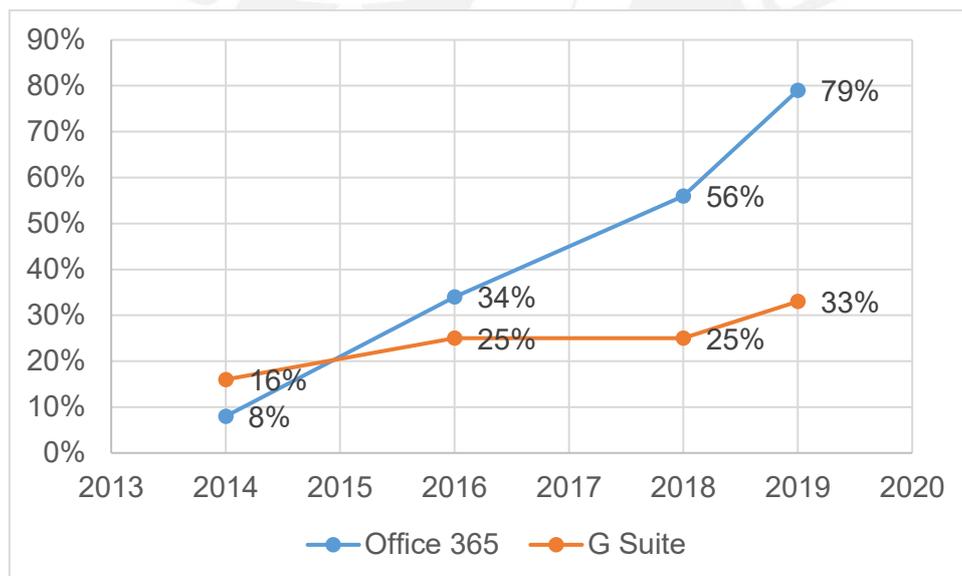
Elaboración propia basada en [3].

Justamente, dos de estas categorías que destacan (aplicaciones SaaS de correo y almacenamiento de archivos) están incluidas dentro de otra categoría superior que la industria ha bautizado como “plataformas de productividad y colaboración”, las cuales deben su

extendido uso a la necesidad de contar con herramientas que permitan a los trabajadores poder crear y editar archivos, proyectos, hacer cálculos matemáticos o financieros, enviar correos, almacenar y transferir archivos, ente otros; todo en tiempo real y de la manera más rápida posible. Es así como el mercado actual cuenta con la presencia de las plataformas de Google (G-Suite), Microsoft (Office 365), Apple (iWork) así como otras de código abierto como LibreOffice.

### 1.1.3 Plataformas de productividad

En lo que a la categoría de plataformas de productividad y colaboración se refiere, la suite Office 365 de Microsoft se disputa el mercado con su par de Google, la G-Suite. Según un reporte de BitGlass en [4], se observa el crecimiento acelerado en los últimos años de uno de los competidores en particular: Microsoft. Así, se indica que este pasó de contar con una adopción en las empresas de un 8% a un 34% al 2016, sobrepasando a Google [4]. Ya para el año 2019, esta cifra creció hasta un 79%, mientras que en el caso de Google este subió a 33%, tal como se aprecia en la figura 1-4.



**Figura 1- 4: Adopción de las principales plataformas de productividad del mercado en los últimos 6 años.**

[4]

Por otra parte, Gartner también indica en otro estudio del 2016 [5] que entre las compañías que utilizan correo electrónico basado en nube, Microsoft es más popular en las organizaciones más grandes y cuenta con una adopción del 8.5%, mientras que en el caso de Google G-Suite se tiene una adopción del 4.7%.

Finalmente, a nivel de número de usuarios activos de cada una de estas plataformas, el propio Microsoft señaló en uno de sus reportes trimestrales de ingresos a abril del 2019 que ya

alcanzó la cifra de 180 millones de usuarios comerciales activos, lo cual representa un crecimiento anual de 27% [6]. Mientras tanto, el propio CEO de Google Sundar Pichai informó que a febrero de 2019 la G-Suite cuenta con más de 5 millones de usuarios comerciales activos [7].

## **1.2 Definición del problema y justificación**

Es claro que existe un importante crecimiento en la demanda de estos nuevos servicios de productividad en la nube. Sin embargo, debido a la naturaleza de esta tecnología, toda la información de los usuarios es enviada a través de la gran y compleja red pública de Internet. Por lo tanto, el elevado incremento del consumo de ancho de banda en la conexión a Internet debido a la utilización de estos aplicativos, así como el sometimiento a la natural latencia producida por la distancia física entre los dispositivos finales y el servidor de las aplicaciones, conllevan a la degradación del desempeño de las mismas. Esta degradación es también acentuada debido a que la mayoría de los protocolos existentes fueron inicialmente desarrollados para escenarios con redes LAN en donde, en teoría, se cuentan con altas tasas de bits y escasa latencia. Por lo tanto, una vez sometidos a la red WAN, sobre todo la pública como el caso del presente escenario, su funcionamiento se ve afectado por las características descritas. En consecuencia, actividades comunes a la hora de hacer uso de las llamadas plataformas de productividad como la carga y descarga de archivos de gran tamaño, envío de correos, edición de textos, creación de presentaciones y hojas de cálculo, entre otras, se ven directamente perjudicadas, lo cual finalmente representa un pobre desempeño de las aplicaciones que se traduce en una experiencia de usuario final negativa [8].

En el caso particular de la plataforma de productividad de Office 365, un reporte adicional de Gartner en [9] señala que el factor desempeño es uno de los principales problemas a la hora de implementar una solución en nube de este tipo y que un 20% de todas las organizaciones que lo utilizan han reportado ineficiencia en el performance del servicio, mientras que otro 22% ha reportado insuficiente disponibilidad del servicio. En consecuencia, anticipa que para fines del año 2020 más de la mitad de todas las implementaciones de Office 365 a nivel global experimentarán problemas de desempeño, todos ellos principalmente relacionados a la red [9]. Office 365 es, por lo tanto, dependiente de la calidad y performance de la red sobre la cual su tráfico es enviado y sufrirá degradación si es que esta no es diseñada, provisionada o implementada con soluciones adecuadas que ataquen directamente estos inconvenientes. Cabe resaltar que hasta la finalización de la presente tesis no se encontró documentación detallada sobre el impacto de los inconvenientes mencionados en lo correspondiente a acceso de la plataforma de G-Suite.

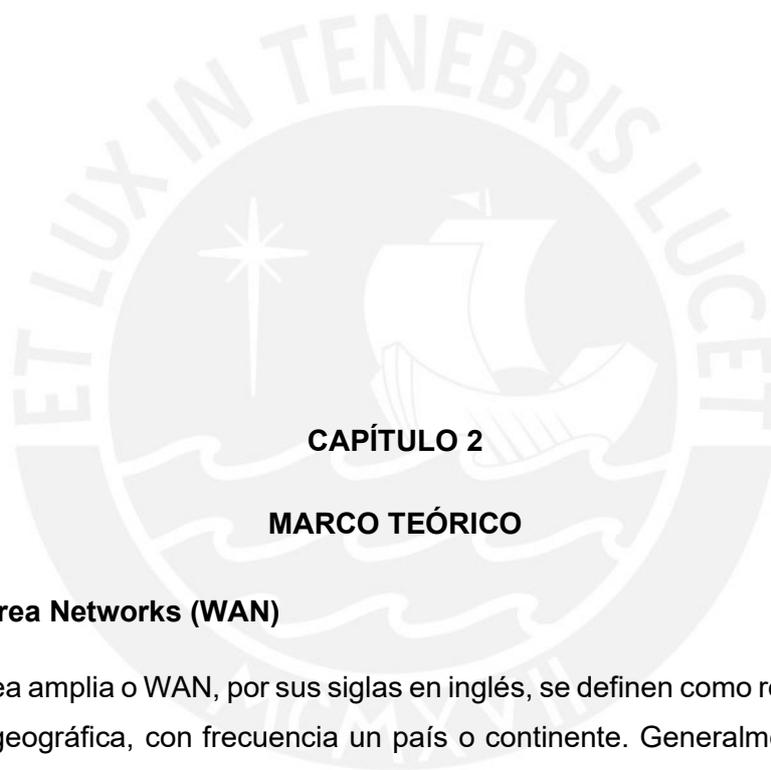
### **1.3 Objetivo de la tesis**

Por lo expuesto anteriormente, se hace necesario el estudio e implementación de una solución de optimización del uso del ancho de banda, reducción de latencia y aceleración de tráfico en la conexión de Internet para el acceso de estos aplicativos en nube. Debido a su predominancia en el mercado, se limitará el estudio de esta solución a la suite de Office 365.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

Con el fin de alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos de manera específica para el presente desarrollo de la tesis:

- Realizar una comparación de las diversas alternativas de solución para acceso optimizado a la suite de Office 365 y elegir la más adecuada para un escenario empresarial.
- Brindar una propuesta técnica para la implementación de una solución de acceso optimizado a la suite de Office 365 en base al análisis previo y realizar un estudio de su funcionamiento.
- Validar el grado de reducción de la utilización del ancho de banda de Office 365 de un usuario final luego de implementada la solución propuesta en comparación a lo esperado.
- Validar la reducción del tiempo de descarga de archivos desde la plataforma de Office 365 luego de implementada la solución propuesta en comparación a lo esperado.
- Evaluar el impacto económico de la solución propuesta para un entorno empresarial desde el punto de vista del proveedor de la solución.



## **CAPÍTULO 2**

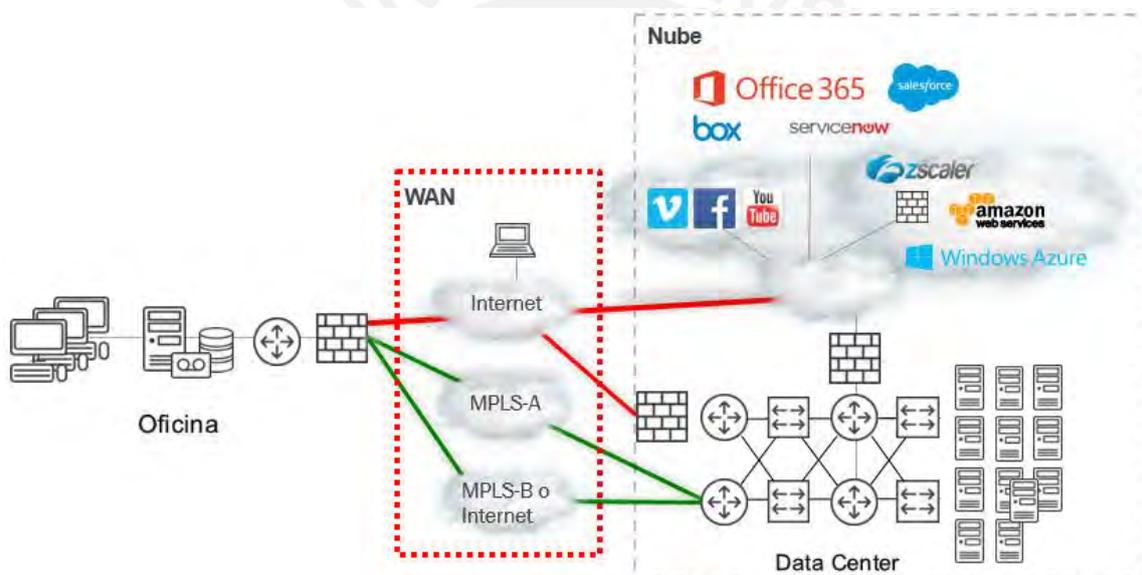
### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Wide Area Networks (WAN)**

Las redes de área amplia o WAN, por sus siglas en inglés, se definen como redes que abarcan una gran área geográfica, con frecuencia un país o continente. Generalmente, estas redes están conformadas por las líneas de transmisión que dependiendo del medio físico pueden ser cables de cobre, fibra óptica, radio enlaces, entre otros; y de los elementos de conmutación o enrutamiento, que se encargarán de elegir los caminos a través de los cuales enviar los paquetes de información [10]. Asimismo, a nivel empresarial se considera a una red WAN como privada a aquella que sirve de infraestructura para servicios de interconexión segura y dedicada entre redes de área local de una misma empresa ubicadas en lugares geográficos distantes, como por ejemplo una red MPLS-VPN, PWE3, fibra oscura, o similares. Por otro lado, se considera una red WAN como pública básicamente a aquella sobre la cual se tiene un uso compartido de la infraestructura con otros usuarios, por ejemplo, durante el acceso a Internet [11].

### 2.1.1 WAN híbrida

El concepto de WAN híbrida hace referencia a la forma de interconexión de dos sedes geográficamente distantes de una empresa con el tráfico siendo enviado a través de dos tipos diferentes de tecnologías de conexión WAN (pública o privada). Por ejemplo, una conexión podría ser a través de una red MPLS tradicional mientras que la otra podría estarse dando por medio de una VPN a través de Internet. Esto trae beneficios como el uso de técnicas de optimización asimétricas entre ambos enlaces (balanceo de carga), así como la posibilidad de usar tecnologías de selección de camino, lo cual implica que se pueda tener decisión en tiempo real sobre cuál de los caminos es el más óptimo para el tráfico en función al estado del enlace (ancho de banda usado, latencia, errores detectados, entre otros) [12]. En la figura 2-1 se puede observar una topología de red de una empresa que hace uso de una red WAN híbrida para interconexión con su data center.



**Figura 2- 1: Wide Area Network (WAN) híbrida.**

Elaboración propia basada en [13].

### 2.2 Computación en la nube

Este término hace referencia a un sistema de cómputo que consiste en una colección de ordenadores virtualizados e interconectados que son suministrados dinámicamente y presentados como uno o más recursos computacionales unificados, dependiendo del acuerdo de nivel de servicio negociado entre el proveedor de servicios y el consumidor [14]. Una de las características principales de este modelo es que facilita y agiliza la provisión de recursos de cómputo y servicios de red a múltiples usuarios de acuerdo a sus necesidades y sin que esto represente un mayor esfuerzo para el mismo en su administración o mantenimiento físico, todo esto a través de una red que mayormente es Internet.

De acuerdo con el servicio que se pueda ofrecer al consumidor, existen tres principales clasificaciones de la computación en la nube: la Infraestructura como Servicio, Plataforma como Servicio y Software como Servicio.

### **2.2.1 Infraestructura como Servicio (IaaS)**

Se trata de un nivel en el que se ofrecen recursos físicos como servidores, almacenamiento y elementos de red como servicio. Es decir, dependiendo de la necesidad que tenga el usuario, este puede adicionar o eliminar recursos como memoria, capacidad de procesamiento, discos, máquinas virtuales, sistemas operativos, entre otros. Esta adición de recursos puede darse de forma automática, como sucede por ejemplo en el EC2 de Amazon Web Services en donde es posible la creación de instancias virtuales en solo minutos, así como el continuo monitoreo de su salud, disponibilidad y automático reemplazo en caso alguno de estas instancias fallase [15].

### **2.2.2 Plataforma como Servicio (PaaS)**

Este modelo hace referencia básicamente a un entorno de desarrollo en la nube de manera que el usuario pueda crear sus propias aplicaciones. Este modelo es principalmente usado para el desarrollo de aplicaciones web, administración de bases de datos, entre otros; las cuales puede luego distribuir como un servicio. Por ejemplo, en el caso de la plataforma Google App Engine, según lo que el mismo Google explica, se libera al usuario de la carga de tener que administrar la infraestructura, provisionándole servidores, bases de datos y capacidad de configurar redes. De esta manera, el usuario final solo se debe preocupar del desarrollo del código en lenguajes de programación como Python, Java, PHP, entre otros. [16].

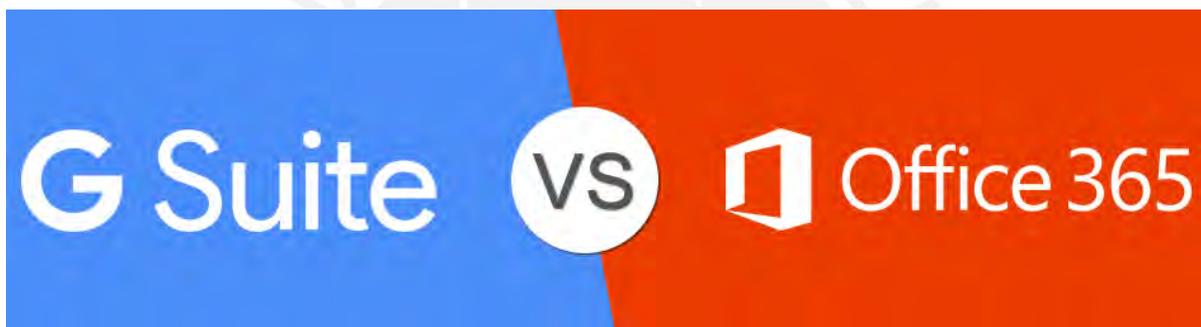
### **2.2.3 Software como Servicio (SaaS)**

Este tipo de servicio permite que los usuarios accedan a aplicaciones basadas en la nube sin necesidad de mantener no solo infraestructura física propia, sino también instalación de software, pues tan solo se requiere tener acceso a Internet mediante un navegador web. Al igual que en los otros modelos, la principal ventaja aparte de que se libere al usuario de toda complejidad de gestión de hardware y software es que se realiza un pago periódico a demanda basado en la cantidad de usuarios que se espera que accedan a determinada aplicación. Asimismo, se cuenta con acceso a los datos de las mismas desde cualquier lugar y desde cualquier dispositivo, ya sea móvil o de escritorio, de manera que esta información no se pierde en caso se dañe el dispositivo desde el que se acceda [17]. Es así como existe aplicaciones en nube de acuerdo con el tipo de necesidad o rubro de negocio, como por

ejemplo Salesforce para gestión de ventas, Dynamics 365 a modo de CRM o ERP, Box para gestión de contenidos y almacenamiento, ServiceNow para gestión de servicios, Office 365 o G-Suite como plataformas de productividad, entre otros.

## 2.3 Plataformas de productividad y colaboración

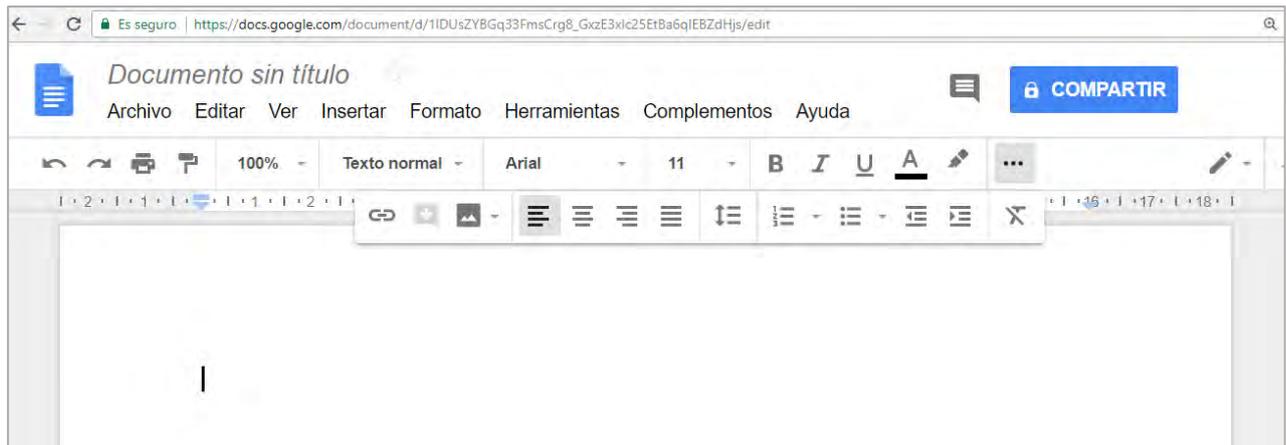
Gartner Inc. las define en [18] como una serie de plataformas de contenido centralizado que permite la colaboración tanto para individuos como equipos de trabajo y la creación de un lugar de trabajo moderno y digital. Dentro de sus principales funcionalidades se incluye el acceso móvil a repositorios de contenidos en la nube, sincronización, compartición y búsqueda de archivos dentro y fuera de la organización, entre otros. Finalmente, y quizás la razón por la más se las conoce, estas plataformas permiten la creación de documentos, hojas de cálculo, flujos de trabajo, gestión de contenidos, entre otros; de manera que los usuarios dentro de una organización pueden trabajar de manera remota, conjunta y en tiempo real ellos.



**Figura 2- 2: Plataformas de productividad y colaboración más populares.**  
[19]

### 2.3.1 Procesador de texto

Se trata de una aplicación informática que permite la creación y edición de documentos de texto en computadora. En ese sentido, es posible trabajar textos con distintas fuentes, tamaños, colores, formatos, efectos; permite inserción de imágenes y tablas; admite corrección ortográfica y gramatical, entre otras funciones [20]. Entre los más populares a nivel empresarial actualmente se encuentran Microsoft Word y Google Docs, cuya interfaz gráfica se aprecia en la figura 2-3.

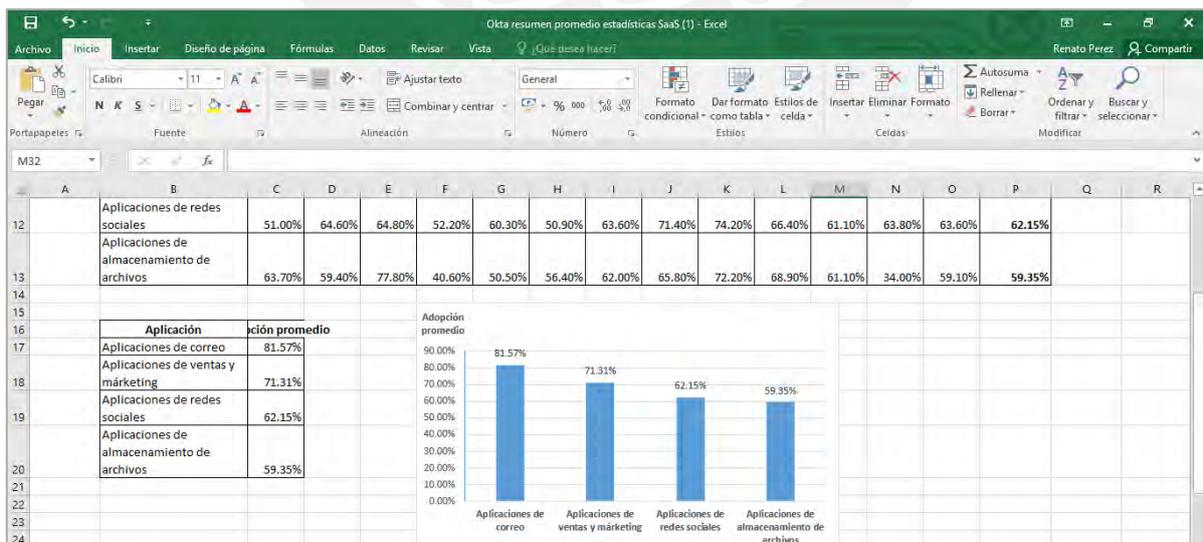


**Figura 2- 3: Interfaz gráfica de Google Docs.**

Elaboración propia.

### 2.3.2 Hojas de cálculo

Se define la hoja de cálculo como una herramienta informática utilizada para el cálculo de cualquier proceso que permite además recalcular automáticamente un programa completo solamente modificando datos de entrada [21]. Una hoja de cálculo está compuesta por una matriz rectangular de filas y columnas, donde las intersecciones de ambas forman celdas en las cuales se puede ingresar letras, números y fórmulas matemáticas de cualquier tipo. Es esta última funcionalidad la que hace tan potentes a las hojas de cálculo para la resolución de problemas, operaciones financieras, contables, estadísticas, mediciones, entre otros. A nivel empresarial, los más populares son Google Spreadsheets y Microsoft Excel, cuya interfaz gráfica se aprecia en la figura 2-4.

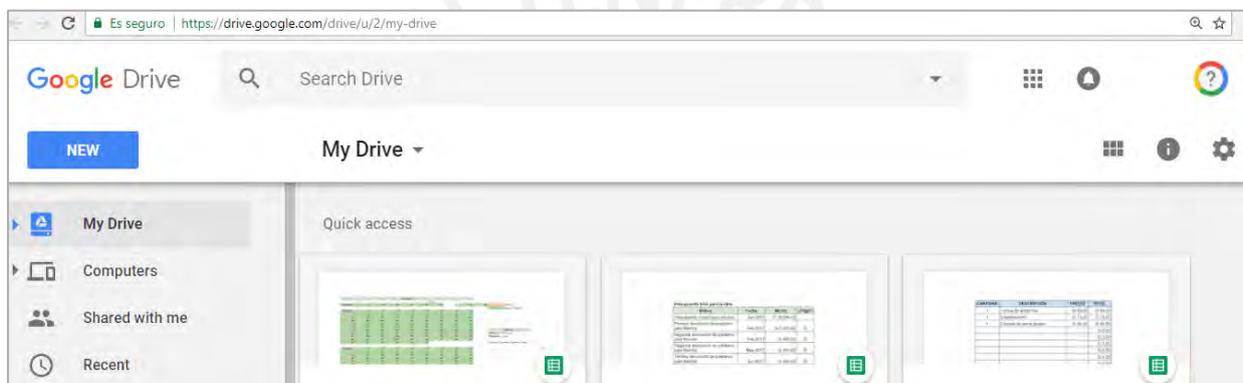


**Figura 2- 4: Interfaz gráfica de Microsoft Excel.**

Elaboración propia.

### 2.3.3 Almacenamiento y sitios de grupo

Este tipo de aplicaciones le brinda al usuario una cantidad determinada de almacenamiento de archivos en nube para el acceso desde cualquier dispositivo o para su compartición con otros usuarios. A nivel de plataformas de productividad para el sector empresarial, las aplicaciones para almacenamiento más populares son OneDrive for Business de Microsoft y Drive de Google, cuya interfaz se muestra en la figura 2-5. Por otro lado, existen los denominados sitios de grupo, los cuales son lugares donde los usuarios pueden colaborar en archivos, documentos e ideas. Por ejemplo, según indica Microsoft, para el caso del sitio de grupo SharePoint se ofrece un conjunto completo de bibliotecas de documentos, listas de tareas, calendarios, flujos de trabajo y otras características que ayudan a que un equipo se comuniquen y colabore [22].



**Figura 2- 5: Interfaz gráfica de Google Drive.**

Elaboración propia.

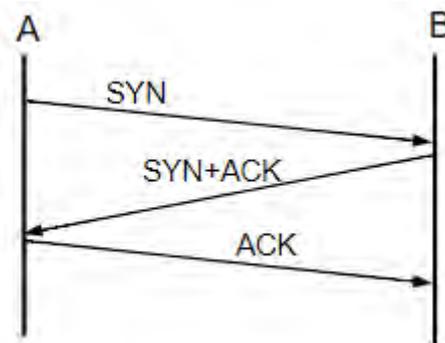
## 2.4 Protocolo TCP

El Protocolo de Control de Transmisión (o TCP, por sus siglas en inglés) es un protocolo que pertenece a la capa de transporte del modelo TCP/IP. Se trata de un protocolo orientado a conexión, es decir, permite que dos máquinas que están comunicadas controlen el estado de la transmisión y establezcan una sesión [23]. Asimismo, introduce el concepto de “socket” que hace referencia al uso de una dirección IP junto con un puerto, el cual está asociado a un tipo de aplicación y permite diferenciarla de otras de manera general. Las conexiones TCP están compuestas por 3 fases: establecimiento de la conexión, transferencia de datos y liberación de la conexión. [24].

### 2.4.1 Establecimiento de la conexión

Dado que se trata de un escenario cliente-servidor, el establecimiento de la conexión TCP viene iniciado por el cliente, el cual envía un mensaje SYN que contiene información sobre la IP y puerto al que se desea conectar (apertura activa). Para esto, previamente el servidor

debe estar preparado para recibir estas conexiones y escuchar en determinados puertos (apertura pasiva). Una vez recibido el SYN, el servidor verifica si el puerto solicitado se encuentra abierto: si es así, responde con un mensaje SYN propio más una verificación ACK del mensaje SYN previo enviado por el cliente. Finalmente, el cliente debe verificar la recepción del mensaje SYN del servidor a través de un último ACK y completar así el establecimiento de la conexión [25]. Este proceso también es llamado “negociación en 3 pasos” y se observa en la figura 2-6.



**Figura 2- 6: Flujo de establecimiento de conexión TCP.**

[26]

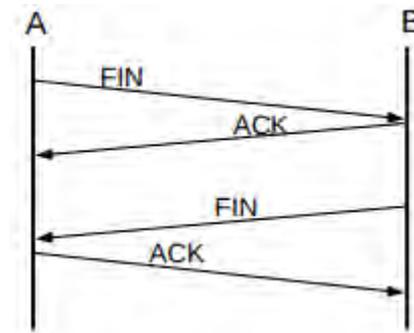
#### **2.4.2 Transferencia de datos**

Una vez finalizado el establecimiento de la conexión, se procede a la transferencia de datos. En esta fase, a nivel de protocolo se utilizan los números de secuencia, útiles para ordenamiento de segmentos TCP y detección de duplicados; el uso de sumas de verificación para detección de errores; temporizadores para detección de retrasos, entre otros. Asimismo, ante cada envío de información enviada en esta fase, se envía también mensajes ACK para interpretar las condiciones del emisor y receptor TCP [24]. Una parte importante de esta fase es que este flujo de datos viene controlado a través de un mecanismo denominado ventana deslizante, el cual se explicará en la siguiente sección.

#### **2.4.3 Liberación de la conexión**

Tanto el cliente como el servidor puede decidir terminar la conexión en cualquier momento. Sin embargo, a diferencia del establecimiento de la conexión, en esta fase son ambos quienes deben estar al tanto de que la conexión se ha finalizado. Para lograrlo, quien decida terminar la conexión debe enviar un mensaje FIN, el cual deberá ser respondido con un mensaje ACK y posteriormente también enviar otro FIN al primero. Por último, quien decidió terminar la conexión debe enviar un ACK para el FIN previo y de esta manera completar el término de la

conexión. Este proceso también se le llama “negociación en 4 pasos” [24] y se observa en la figura 2-7.

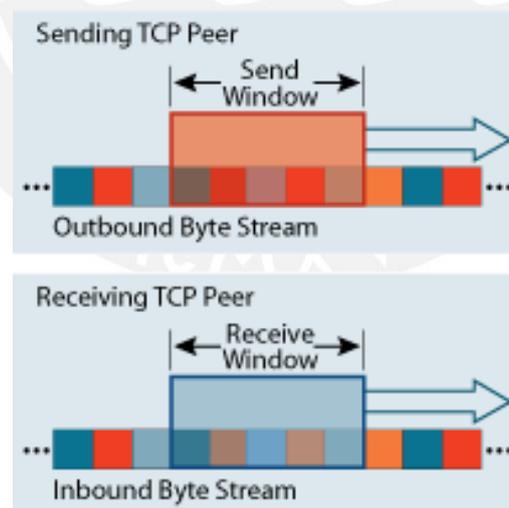


**Figura 2- 7: Flujo de liberación de conexión TCP.**

Elaboración propia basada en [27].

#### 2.4.4 Ventana TCP

La ventana TCP se refiere a un parámetro TCP que indica la cantidad de data que el protocolo TCP/IP permite enviar en un tiempo determinado [28]. Este valor viene determinado principalmente por el receptor de la información, pero también existe el valor de ventana TCP de envío, para lo cual se debe realizar un cruce entre ambos y así determinar la cantidad máxima de envío de datos que soporta dicha conexión TCP [29], tal como se observa en la figura 2-8.



**Figura 2- 8 : Cruce entre ventanas TCP de recepción y de envío.**

[29]

#### 2.4.5 TCP Slow-start

El TCP de inicio lento se trata de un proceso de optimización de transmisión en TCP en donde la información es enviada en pequeños fragmentos, los cuales se van haciendo más grandes

hasta que el receptor ya no pueda soportar el tamaño, momento en el que el proceso se detiene y se reinicia [30]. Esto tiene como finalidad la medición de la cantidad máxima de data que se puede transmitir en una conexión TCP, por lo que si este valor no es seleccionado apropiadamente, podría no consumirse todo el ancho de banda disponible de la conexión [31].

## 2.5 Protocolo SSL

Secure Socket Layer (SSL) es un protocolo de encriptación desarrollado inicialmente por la compañía de software Netscape con el fin de brindar seguridad en la información transmitida entre un cliente y servidor, pudiendo ser utilizado en otros protocolos como HTTP, FTP y SMTP. Esto se realiza a través de dos fases: el apretón de manos de inicio (comúnmente conocido como handshake) y transmisión de datos. La primera fase consta de determinar los parámetros de las claves secretas, las cuales se usarán luego durante la transmisión de datos para encriptar y desencriptar la data enviada por la red. Para ello, el cliente inicia la conexión transmitiendo un mensaje "Hello" que contiene una serie de algoritmos de encriptación soportados por el mismo. Luego de que el servidor elige el algoritmo a utilizar, le envía al cliente un certificado que contiene información que valida la identidad del servidor, su llave pública y otros valores [32]. De esta manera, se garantiza una conexión segura y se evita que la información transmitida pueda ser descifrada por algún agente intermedio.

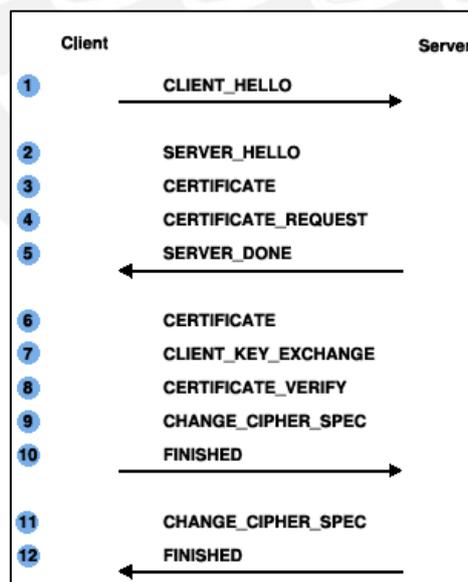


Figura 2- 9: Flujo de la fase Handshake SSL con autenticación de cliente.

[33]

### 2.5.1 Protocolo HTTP

El Hypertext Transfer Protocol (HTTP) es el lenguaje utilizado entre una cooperación de clientes y servidores con el fin de permitir la transferencia de información en la World Wide Web (WWW), información que suele ser interpretada y mostrada a un usuario a través de un navegador web [34]. En este protocolo el cliente, que mayormente es el navegador web, transmite un mensaje conocido como “request” hacia el servidor. Además de la propia solicitud de obtención de información, este mensaje también puede contener información adicional como cabeceras que, de acuerdo con su tipo, pueden indicar descripción del contenido, control de cookies, entre otros, tal como se observa en la figura 2-9.



**Figura 2- 10: Parámetros HTTP en un mensaje “request”.**  
Elaboración propia.



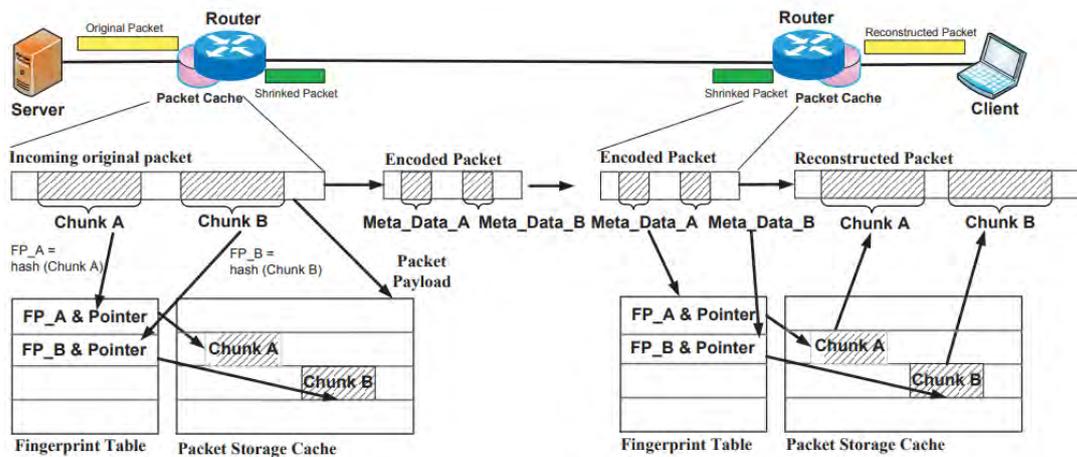
## CAPÍTULO 3

### ESTADO DEL ARTE Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

#### 3.1 Estado del arte

En la búsqueda de la optimización de la transmisión de datos en general a través de una red WAN deficiente, se han realizado estudios que han derivado en técnicas relacionadas a la forma de mitigar estos efectos. Por ejemplo, como indica Anand en [35], la clave para la optimización de la WAN consiste en aprovechar la redundancia en el tráfico de la red. Esta puede darse a nivel de objetos, como cuando varios usuarios acceden a los mismos videos o imágenes; o a nivel de paquetes, como cuando los mismos usuarios acceden a las mismas versiones de archivos en distintos periodos de tiempo. Por otro lado, trabajos como los de Spring y Wetherall en [36] plantean mecanismos cuyo funcionamiento es de forma independiente de cualquier protocolo utilizado, por lo que tienen la ventaja de que son transparentes ante cualquier tipo de aplicaciones y reducen la redundancia de todo tipo de contenido. A este tipo se les conoce como “Data Redundancy Elimination (DRE)” o deduplicación de data y según Anand, quien muestra un estudio de la eficiencia de esta técnica en [37], se obtiene un promedio de entre 15 a 60% de ahorro en utilización de ancho de banda

cuando esta es implementada en los enlaces de acceso de los proveedores de servicio de Internet (ISP). Su funcionamiento puede apreciarse en la figura 3-1.



**Figura 3- 1: Funcionamiento tradicional de la técnica de de-duplicación.**

[38]

Ya en estudios más recientes, Metzler realiza una recopilación y categorización de las técnicas para contrarrestar la saturación de red de acuerdo con la característica de la WAN que se intenta mitigar, ya sea el insuficiente ancho de banda, la alta latencia, la pérdida de paquetes o la contención de red, tal como se puede apreciar en la Tabla 3-1.

**Tabla 3- 1: Técnicas para mejorar el rendimiento de red y aplicaciones.**

[39]

Característica de la WAN	Técnica de Optimización
Ancho de banda insuficiente	Reducción de data: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresión de datos</li> <li>• De-duplicación</li> <li>• Caching</li> </ul>
Alta latencia	Aceleración de protocolo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• TCP</li> <li>• HTTP</li> <li>• CIFS</li> <li>• NFS</li> <li>• MAPI</li> </ul> Mitigación de tiempo de viaje (round-trip): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Predicción de solicitudes</li> <li>• Suplantación de respuesta</li> </ul>
Pérdida de paquetes	Control de congestión. Corrección de errores hacia adelante (FEC, por sus siglas en inglés)
Contención de red	Calidad de servicio (QoS)

Con respecto al caching, Metzler indica que es más conveniente que la información solicitada por el usuario se encuentre en una base de datos local en lugar de tener que ser enviada desde el mismo servidor lejano, mientras que la compresión de paquetes ayuda a hacerlos más pequeños y reducir el consumo de ancho de banda por usuario, reducir también la latencia y, en consecuencia, el tiempo de carga y descarga de archivos. Según un estudio de King en [40], la compresión de datos puede ahorrar hasta en 75% el contenido de un archivo de texto y hasta un 37% si este además incluye gráficos o imágenes. Con respecto de la deduplicación, Metzler indica que esta permite que la transmisión de un archivo ante varias solicitudes de este ya no sea la del archivo entero, sino simplemente la de sus cambios. Por otro lado, la aplicación de técnicas de calidad de servicio (QoS) controlan la manera en la que el tráfico es gestionado al darle un trato prioritario a algunos servicios mientras se deniegan o retrasan en colas a otros [39]. Finalmente, plantea la utilización de técnicas de aceleración de acuerdo con el protocolo específico que utilice la aplicación.

### **3.2 Alternativas de solución**

Teniendo en cuenta el estado del arte, se busca evaluar las diversas alternativas de solución que permitan mejorar el desempeño de la red en el acceso específico a Office 365.

#### **3.2.1 Incremento del ancho de banda**

Aumentar el ancho de banda de la salida a Internet efectivamente puede lidiar con el hecho de que el tráfico de los usuarios que acceden a Office 365 pueda haber incrementado lo suficiente como para saturar el enlace de Internet. Sin embargo, esta alternativa no es necesariamente escalable a futuro. Esto teniendo en cuenta que hay una tendencia del tráfico a seguir incrementándose, así como el número de usuarios, por lo cual esta solución implicaría en el futuro seguir incrementando el ancho de banda brindado por el ISP y sin un tope aparente, resultando en un constante costo para la empresa que dependiendo del operador puede llegar a ser hasta \$15 por Mbps [41]. Asimismo, solamente incrementar el ancho de banda no resuelve de ninguna manera los problemas de latencia previamente explicados.

#### **3.2.2 Gestión de red interna**

Una forma común de lidiar con los problemas de desempeño de la red es tratar de optimizar su utilización al máximo. Tal como indica Balakrishnan en [42], el primer punto a tener en cuenta para lograr una red optimizada es garantizar el correcto estado de la infraestructura existente y velar por un diseño adecuado de sus componentes: diseño centralizado o

distribuido, categoría de cableado utilizado, modelo de routers, modelo de switches, entre otros.

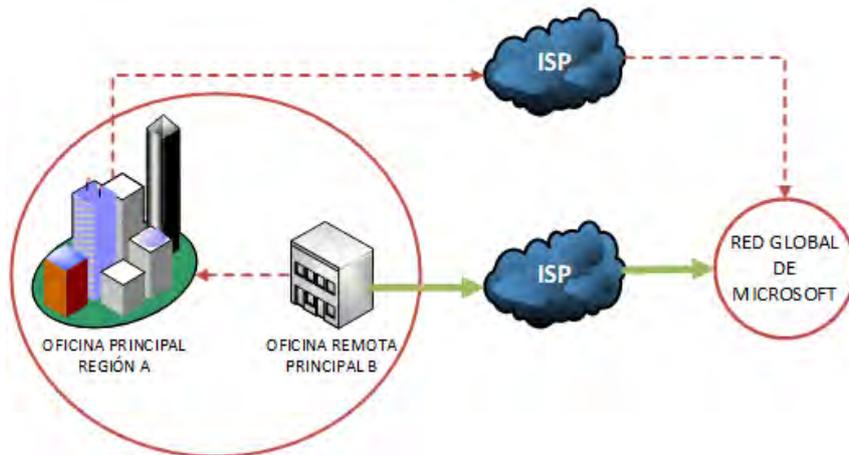
Por otra parte, sobre la infraestructura existente es indispensable en toda red empresarial la gestión interna de la misma. Es así como los encargados de TI de diversas compañías se ven en la necesidad de la aplicación de una serie de políticas como:

- Definición de los medios de acceso a la red (cableado o inalámbrico) para los grupos de usuarios pertinentes de acuerdo con la necesidad de utilización de ancho de banda.
- Reserva de determinado ancho de banda para el uso de aplicaciones críticas, por ejemplo, la suite de Office 365.
- Limitación del consumo de ancho de banda de otras aplicaciones que no sean críticas como redes sociales, juegos, o similares.
- Definición de horarios de acceso a determinadas aplicaciones, dependiendo de la necesidad.
- Configuración de calidad de servicio (QoS) para priorizar cierto tráfico sobre otro.
- Configuración de balanceo de carga para el tráfico de red, si se cuenta con más de una conexión de Internet.

### **3.2.3 Aplicación de las recomendaciones del fabricante**

La compañía Microsoft, al ser consciente de los problemas subyacentes a la naturaleza de su solución en nube, brinda en [43] y en [44] una serie de recomendaciones a tener en cuenta para mejorar el rendimiento de Office 365. Algunas de ellas:

- Identificación y diferenciación de tráfico de Office 365: sugiere que una manera efectiva de hacerlo es accediendo a la información del rango de URL's e IP's públicas que Microsoft pone a disposición en [45] con el fin de tenerlos mapeados y usarlos en la configuración de rutas, políticas de firewall, traffic shapers, entre otros.
- Resolución DNS local: en muchos casos, el escenario de red de una compañía es el de oficinas remotas interconectadas hacia una oficina principal en donde se realiza, por ejemplo, la resolución DNS. Esto puede apreciarse en la figura 3-2. Entonces, si una oficina remota cuenta con salida a Internet y trata de ubicar el servidor de Office 365, lo que se puede provocar es que su tráfico sea redirigido hacia un servidor muy lejano geográficamente. Al configurar una resolución DNS local, se asegura que el servidor de Office 365 al que se acceda sea el más cercano y por lo tanto se reduce la latencia.



**Figura 3- 2: Resolución DNS local de Office 365.**

Elaboración propia basada en [43].

- Disminución de uso de políticas de seguridad para Office 365: lo que Microsoft propone es confiar en las características de seguridad ya integradas en su servicio de suscripción en la nube como Prevención de Fuga de Datos (DLP), antivirus, Office 365 Threat Intelligence, autenticación multifactor, entre otras. De esta manera, lo que sugiere es reducir la dependencia del uso de capas de seguridad terceras para específicamente este tipo de tráfico, ya que por su carácter intrusivo estas generan un impacto en el performance, particularmente en la latencia.



**Figura 3- 3: Evitamiento de dispositivos de seguridad en el acceso a Office 365.**

[46]

- Uso de *Split Tunneling*: en escenarios en los que los usuarios se encuentran conectados a la red de manera remota a través de túneles VPN SSL, generalmente se hace uso de la navegación a Internet a través de la sede principal, lo cual puede significar un incremento en la latencia de la conexión. En ese sentido, Microsoft

sugiere habilitar la característica de túnel dividido (mayormente conocido como split tunneling) a nivel de usuarios VPN, configuración que permite que estos solo hagan uso de la VPN para acceder a los servicios de la red a la que se conectan, mientras que el resto de su tráfico como el de Office 365 es enviado a través de su propia conexión de Internet local. Con esto se consigue mejores tiempos de respuesta.

### 3.2.4 Uso de Redes de Distribución de Contenido

Debido a que Microsoft utiliza una arquitectura que hace uso de las Redes de Distribución de Contenido (CDN, por sus siglas en inglés), la descarga de archivos comunes como scripts de Office 365, contenido genérico o íconos de imágenes a la hora de cargar una página web puede realizarse desde servidores mucho más cercanos al usuario, lo cual incrementa su velocidad. Esto significa entonces una reducción en el uso de ancho de banda y la latencia dentro de la propia infraestructura de red de Microsoft [47].

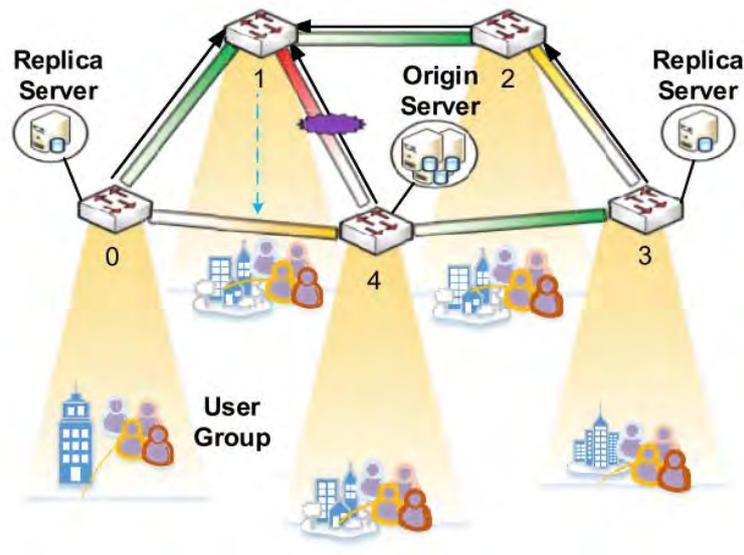


Figura 3- 4: Ejemplo de una Red de Distribución de Contenido.

[48]

### 3.2.5 Uso de aceleradores WAN

Existen soluciones en el mercado que han desarrollado y puesto en práctica las diversas tecnologías mencionadas en el estudio del arte relacionadas a optimización WAN. Los aceleradores WAN se trata de equipos que trabajan en parejas [49] en ambos extremos de la red WAN y que conversan entre sí para generar un túnel de optimización y aplicar las mencionadas técnicas como de-duplicación de data, compresión, entre otros, tal como se observa en la figura 3-5.



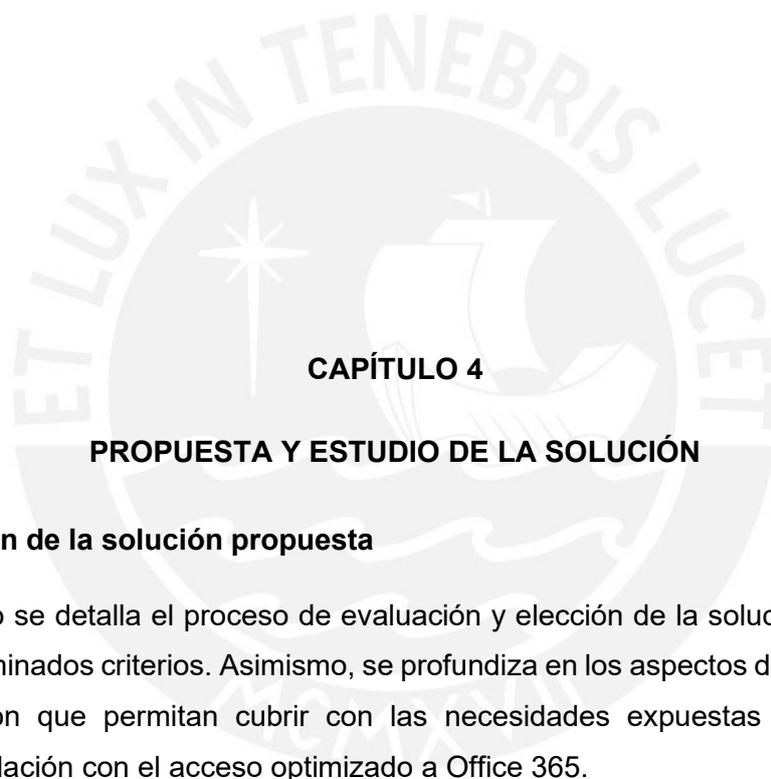
**Figura 3- 5: Túnel de optimización entre aceleradores WAN.**

[50]

Su uso generalmente se ha dado para escenarios de acceso a través de redes WAN privadas (por ejemplo, las de tecnología MPLS-VPN) en donde se tiene una sede principal en la cual se encuentran los servicios más importantes de la empresa y sedes remotas desde las que los usuarios acceden a través de la WAN a la principal. Sin embargo, dada la tendencia reciente a la migración de servicios a la nube, los fabricantes se han visto en la obligación de adaptar su tecnología a estos nuevos escenarios. En particular, para el caso de Office 365, se presentan soluciones de aceleración producto de asociaciones entre estos fabricantes con Microsoft. Tenemos el caso de marcas como Riverbed, Citrix, Silver Peak, Cisco, entre otros [51].

Cabe resaltar que existe documentación de Microsoft en [52] en donde se señala expresamente que no se recomienda el uso de aceleradores WAN ni herramientas de terceros para el acceso a Office 365, dado que considera que su solución funciona en la mayoría de casos de manera adecuada y que los problemas de performance que puedan surgir son suficientemente mitigados con la aplicación de sus recomendaciones. Sin embargo, esto es algo que se contradice con su propia asociación anunciado con fabricantes como Riverbed, por ejemplo [53], en donde se menciona el trabajo conjunto para brindar soluciones de optimización WAN a este nivel. Por lo tanto, se considera que la razón principal para que Microsoft sugiera no implementar soluciones de terceros es lo que él mismo indica en [52] relacionado a que no se podrá ofrecer un servicio de soporte total puesto que Microsoft no se encuentra en la capacidad de gestionar soluciones de este tipo por lo que, al tratarse de equipos que interceptan y descifran el tráfico, ya no entraría dentro del nivel de acuerdo de servicio.

Una vez descritas las alternativas de solución, en los capítulos posteriores se procederá a evaluarlas y determinar cuál es la más adecuada para alcanzar los objetivos descritos y realizar su implementación.



## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA Y ESTUDIO DE LA SOLUCIÓN**

#### **4.1 Elección de la solución propuesta**

En este capítulo se detalla el proceso de evaluación y elección de la solución propuesta en función a determinados criterios. Asimismo, se profundiza en los aspectos del funcionamiento de esta solución que permitan cubrir con las necesidades expuestas en los capítulos anteriores en relación con el acceso optimizado a Office 365.

##### **4.1.1 Criterios de elección**

En el capítulo 3 se presentó algunas de las principales alternativas de solución que de manera general buscaban mejorar el desempeño de la red a nivel de acceso a la WAN, en particular al aplicativo SaaS de Office 365. En ese sentido, los siguientes criterios están basados en recomendaciones dadas por Gartner en su análisis de las mejores prácticas para la puesta en marcha de esta aplicación de nube en [9], así como también otros criterios son propuestos por la presente tesis en base al conocimiento de la expectativa de los usuarios finales y administradores de TI que usan esta aplicación en función a experiencia previa:

- **Criterio 1** - reducción de latencia: dado que se trata de la característica de la WAN que más impacto genera en el acceso a Office 365, la solución elegida debe poder minimizarlo en la mayor medida [9].
- **Criterio 2** - inmediatez en el beneficio: se valorará que la alternativa de solución mejore la experiencia de usuario final, para lo cual se requiere que esta pueda generar evidencia notable de reducción de ancho de banda y tiempo de transferencia de archivos ni bien sea implementada.
- **Criterio 3** - combinación de herramientas de Microsoft y de terceros: teniendo en cuenta que Microsoft puede tener ciertas limitaciones en el despliegue de su solución en nube, se valorará que la propuesta contemple el uso de recomendaciones del fabricante sumadas a herramientas especializadas de terceros [9].
- **Criterio 4** - uso de técnicas de optimización WAN: según Gartner, la alternativa de solución debería hacer uso de estas técnicas principalmente con la finalidad de reducir la latencia [9].
- **Criterio 5** - adaptación a un modelo económico de OPEX: con la finalidad de poder realizar una evaluación de impacto económico que resulte lo más rentable posible para una empresa, se valorará que los costos de implementación y servicios asociados a la solución propuesta puedan adaptarse a este modelo.

#### 4.1.2 Evaluación de alternativas de solución

Se evaluará las alternativas de solución en base al cumplimiento de cada uno de los criterios mencionados en la sección anterior. En ese sentido, se les asignará un puntaje (del 0 al 2) de acuerdo con su nivel de cumplimiento del criterio según lo descrito en la tabla 4-1.

**Tabla 4- 1: Criterio de asignación de puntajes.**

Elaboración propia.

Nivel de cumplimiento del criterio "i"	Puntaje asignado
Cumple totalmente (T)	2
Cumple parcialmente (P)	1
No cumple / No aplica (N)	0

Se elegirá la alternativa de solución que obtenga el mayor puntaje de acuerdo con la fórmula (4.1):

$$Puntaje\ total = \sum_{i=1}^n Puntaje\ asignado_i \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

En la tabla 4-2 se resume el análisis del cumplimiento de cada uno de los criterios junto a su justificación para las alternativas de solución en mención.

**Tabla 4- 2: Evaluación de alternativas de solución.**

Elaboración propia.

Solución	¿Reducción de latencia?		¿Inmediatez en el beneficio?		¿Combinación de herramientas de Microsoft con terceros?		¿Uso de técnicas de optimización WAN?		¿Adaptación a un modelo OPEX?	
	Rpta. T/N/P	Justificación	Rpta. T/N/P	Justificación	Rpta. T/N/P	Justificación	Rpta. T/N/P	Justificación	Rpta. T/N/P	Justificación
<b>Incremento de ancho de banda</b>	N	El contrato de mayor ancho de banda en conexión a Internet no implica reducción de la latencia.	P	Mejora para usuario final únicamente relacionada a mayor ancho de banda de Internet.	N	Solución es totalmente independiente de Microsoft.	N	Solución no implica uso alguno de técnicas de optimización WAN.	T	Dado que se trata de un servicio de pago periódico (generalmente mensual).
<b>Gestión de red interna</b>	T	Buenas prácticas en cableado estructurado, limitación de tráfico, entre otros; generan un impacto positivo en reducción de latencia.	T	Cambios en la configuración de políticas de la red interna se ejecuta de manera inmediata.	P	Por ejemplo, uso del pool de IP's públicas que Microsoft ofrece para la configuración de políticas de red interna.	N	Solución no implica uso alguno de técnicas de optimización WAN.	T	Constante gestión de red interna está asociada a costos de operación y mantenimiento.
<b>Aplicación de recomendaciones del fabricante</b>	P	Algunas técnicas sugeridas por Microsoft con ese fin comprometen otros aspectos importantes como la seguridad.	T	Cambios en la configuración de políticas de la red interna se ejecuta de manera inmediata.	P	En este caso interviene únicamente Microsoft, ninguna herramienta de terceros.	N	Solución no implica uso alguno de técnicas de optimización WAN.	T	Constante gestión de red interna está asociada a costos de operación y mantenimiento.
<b>Uso de Redes de Distribución de Contenido</b>	T	Debido a los mecanismos como caché de imágenes, scripts, entre otros.	T	Office 365 ya contempla uso de CDN. Beneficio desde un inicio.	T	La CDN ya es un servicio que trabaja a la par con Microsoft.	N	Solución limitada a mecanismos de caché, optimización de rutas.	T	Dado que se trata de un servicio de pago periódico.
<b>Uso de aceleradores WAN</b>	T	Uso de técnicas de optimización TCP, HTTP, entre otros; para reducción de latencia.	T	Cambios en la configuración de políticas de la red interna se ejecuta de manera inmediata.	T	Fabricantes con convenios con Microsoft para optimización de tráfico de Office 365.	T	Todo el funcionamiento basado en técnicas de optimización WAN.	P	Costos tanto de tipo OPEX (servicios, licencias) como CAPEX (equipamiento físico).

#### 4.1.3 Resultados de la evaluación

En base al análisis realizado y la calificación del cumplimiento del criterio, en la tabla 4-3 se tiene la asignación de puntajes correspondiente a cada una de las alternativas de solución.

**Tabla 4- 3: Asignación de puntajes.**

Elaboración propia.

Solución	Puntaje parcial					Puntaje total
	Reducción de latencia	Inmediatez en el beneficio	Combinación de herramientas de Microsoft con terceros	Uso de técnicas de optimización WAN	Adaptación a un modelo OPEX	
Incremento de ancho de banda	0	1	0	0	2	3
Gestión de red interna	2	2	1	0	2	7
Aplicación de recomendaciones del fabricante	1	2	1	0	2	6
Uso de Redes de Distribución de Contenido	2	2	2	0	2	8
Uso de aceleradores WAN	2	2	2	2	1	9

De acuerdo a la asignación de puntajes, se obtiene como alternativa con mayor calificación el uso de aceleradores WAN, debido a su cumplimiento con la mayoría de criterios. En efecto, se trata de equipos que no solo cumplen con especializarse en la utilización de técnicas de optimización WAN, reducción de latencia, entre otras. sino que también cuentan con integraciones directas hacia la nube de Microsoft Office 365 a través de convenios, uso de Redes de Distribución de Contenido y que se adaptan parcialmente a un modelo de costos de tipo OPEX en lo referido a licenciamiento y aceleración hacia la nube.

#### 4.1.4 Elección de acelerador WAN

Por motivos de implementación de la solución propuesta en la presente tesis, a continuación se evaluará los diversos tipos de aceleradores WAN existentes en el mercado y se determinará cuál es la opción más viable para la aceleración de tráfico hacia la nube de Office 365.

#### 4.1.4.1 Criterios de elección de acelerador WAN

En la figura 4-1 se puede apreciar el llamado “cuadrante mágico de Gartner” en la categoría de optimización WAN para el año 2016, el cual es el resultado de un reporte que realiza la consultora Gartner Inc. de manera independiente y en el cual se analiza las fortalezas y debilidades de cada uno de los principales fabricantes del mercado para finalmente, en función al puntaje obtenido, clasificarlos en cuatro grupos: líderes, retadores, visionarios, y jugadores de nicho.



Figura 4- 1 : Cuadrante Mágico de Gartner 2016 – Optimización WAN.

[54]

Se utiliza como referencia el cuadrante de Gartner de este año debido a que fue el último que se realizó en función a evaluación de características netamente de optimización y aceleración WAN. Desde el 2018, Gartner orienta esta categoría hacia el concepto de SD-WAN, priorizándolo por encima de la aceleración WAN, dado que ha sido una tendencia en el mercado ofrecer soluciones de este tipo para mejorar la experiencia de usuario durante su navegación en general a Internet [55]. Sin embargo, estos últimos cuadrantes no se consideran del todo útiles para el estudio de la presente tesis, ya que esta se encuentra enfocada particularmente en el acceso optimizado hacia una aplicación SaaS como Office

365, mientras que estos cuadrantes abarcan el acceso a la WAN en general. Tal es así que en estos reportes algunas marcas aparecen ya en el cuadrante incluso teniendo nula capacidad de aceleración WAN, como es el caso de la compañía de seguridad Fortinet (quien aparece como Visionario en el cuadrante de 2019) [56].

Para poder entender mejor las ventajas y desventajas que pueden ofrecer este tipo de soluciones, se elegirá algunos de sus principales fabricantes en base al Cuadrante Mágico de Gartner señalado. El criterio de esta elección será el de cubrir por lo menos un fabricante de cada uno de los cuadrantes para tener pluralidad. Asimismo, se analizará el caso del uso de soluciones de tipo software libre que no están mencionadas en dicho reporte como una alternativa adicional.

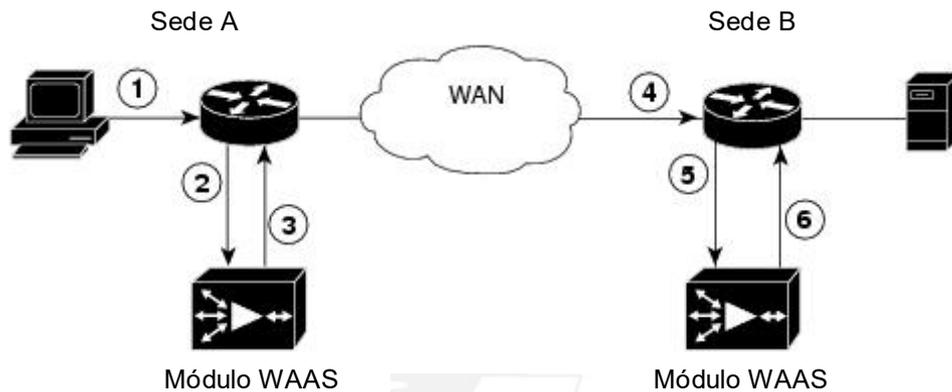
En base a los propios criterios de análisis de Gartner en [54] sumado a experiencia previa y trabajos anteriores como el de Kansanen en [57], se definen los siguientes criterios para la elección del acelerador WAN:

- **Criterio 1** – variedad de técnicas de aceleración WAN: las características del dispositivo acelerador son muy tomadas en cuenta por [54] y [57] como punto básico. En ese sentido, se requiere que el acelerador a elegir contemple el uso de las principales técnicas de optimización WAN como de-duplicación de data, compresión y supresión de data (también llamado caché) y optimización TCP; así como también pueda acelerar los protocolos de capa de aplicación más críticos de negocio: HTTP, SSL, MAPI, SMB (CIFS), UDP, SAP, CAD.
- **Criterio 2** – virtualización: dada la creciente tendencia de las empresas en optar por la virtualización de servicios en el data center, se requiere que el acelerador a elegir cuente con la opción de implementación tanto física como virtual. Esto además por motivos de practicidad para la implementación de la presente tesis.
- **Criterio 3** – optimización hacia la nube: este criterio es fundamental para poder cumplir con los objetivos de la presente tesis en cuanto a la mejora del performance de aplicaciones de nube de tipo SaaS, particularmente Office 365.
- **Criterio 4** – ubicación en el Cuadrante Mágico de Gartner: debido a que los resultados de este análisis independiente no solo resultan bastante influyentes y son tomados muy en cuenta por los encargados de TI de las empresas, sino que además estos resultados están basados en el análisis de otros factores mucho más relacionados al fabricante como innovación en tecnología, ingresos anuales, entendimiento del mercado, modelo de negocio, estrategia de ventas, entre otros [54]. En ese sentido, el orden de valoración de mayor a menor para este cuadrante es en el siguiente: líderes, visionarios, retadores y jugadores de nicho.

#### 4.1.4.2 Descripción de aceleradores WAN

##### 4.1.4.2.1 Cisco Systems

En el caso del fabricante Cisco, se cuenta con la solución de Wide Area Application Services (WAAS) la cual tiene como principal ventaja que no solo puede ser desplegada como un equipo físico llamado Wide Area Virtualization Engine (WAVE), sino que también puede ser agregado como un módulo adicional en sus Integrated Services Routers (ISR) [58].



**Figura 4- 2: Despliegue de la solución Cisco WAAS integrada al ISR.**

Elaboración propia basada en [59].

Según Gartner, esta integración con los routers ISR resulta bastante atractiva para muchos usuarios, puesto que reduce el número de equipos adicionales que deben adquirirse para la implementación de una solución de aceleración WAN, así como se ahorra costos en mantenimiento de la misma siempre que estos ya estén incluidos en el contrato de soporte del propio router [54].

Según lo que el propio Cisco indica en [59], la herramienta WAAS ayuda a mitigar las principales deficiencias en la WAN según se detalla en la tabla 4-4.

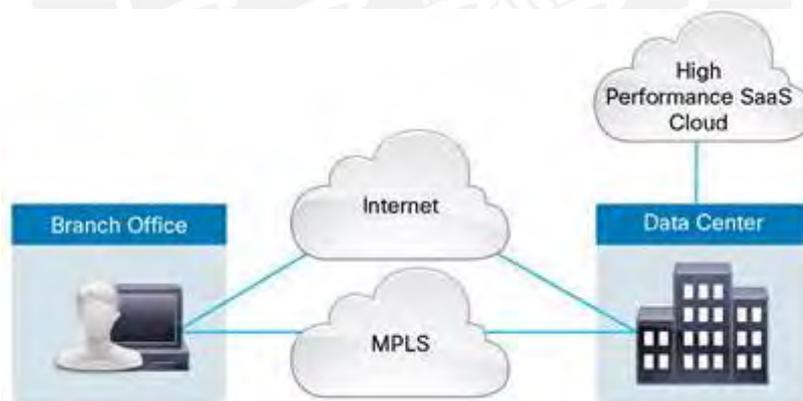
**Tabla 4- 4: Solución de Cisco WAAS para deficiencias de la WAN.**

[59]

Deficiencia WAN	Solución provista por WAAS
Alta latencia	Uso de protocolos inteligentes que reducen el número de viajes de ida y vuelta que realizan los mensajes de respuesta comunes en aplicaciones muy conversadoras.
Saturación de ancho de banda	Provisión de caché y compresión de data para reducir la cantidad de tráfico enviado hacia la WAN y tener mayores tasas de transferencias de información en enlaces congestionados.

Utilización ineficiente de enlaces	Provisión de técnicas de optimización TCP que mejoran la tasa de transferencia de información en la WAN al reducir el número de errores TCP y maximizando el tamaño de las ventanas TCP.
Pérdida de paquetes	Provisión de protocolos como Binary Increase Congestion TCP (BIC TCP) y características como Selective Acknowledgment (SACK) para minimizar la pérdida de paquetes y asegurar una pronta recuperación ante las mismas.

Sin embargo, Gartner también advierte que Cisco ha restado énfasis en el desarrollo de nueva tecnología para lo que respecta a aceleración WAN, al punto de no haber lanzado al mercado ningún modelo nuevo en todo el año 2015 [54]. Adicionalmente, hasta la culminación de la presente tesis no se encontró documentación sobre alguna solución de Cisco WAAS para lo relacionado a aceleración WAN orientada directamente hacia la nube de tipo SaaS, particularmente en la aceleración de Office 365. El único escenario cercano que se menciona en una hoja técnica de Cisco [60] es aquel en el que se tiene una topología WAN en modo backhauled; lo cual implica que las sedes remotas se conecten a una sede principal a través de la cual salen a Internet y acceden a Office 365, según se muestra en la figura 4-3. En este escenario, la aceleración está dada solamente en el segmento conformado por la sede remota y la sede principal.



**Figura 4- 3: Escenario de aceleración con WAN de tipo backhauled.**

[60]

#### 4.1.4.2.2 Silver Peak

El fabricante Silver Peak se encuentra entre los más importantes en el rubro de aceleración WAN con un manejo de aproximadamente 9.2% del mercado [54]. Su solución principal es el llamado Silver Peak NX que, según lo que el propio fabricante indica, se encuentra bastante enfocado en lo relacionado a aceleración de tráfico de replicación entre data centers [61]. De igual manera, afirma en [62] que, al igual que otros fabricantes, se utilizan protocolos

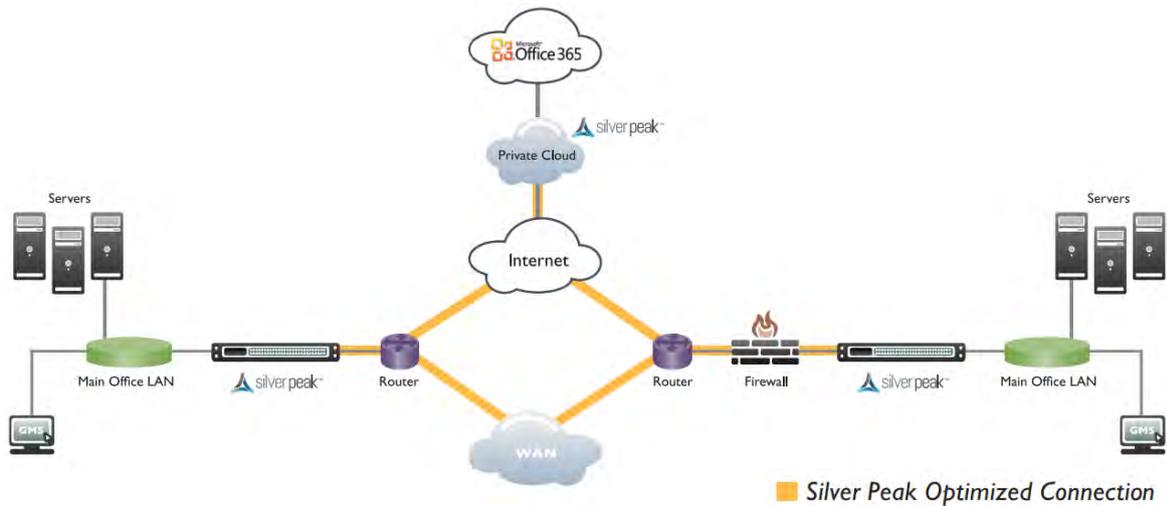
propietarios y técnicas estándares de aceleración de tráfico que incluyen el manejo de ventanas TCP, Calidad de Servicio (QoS) avanzada, correcciones de errores FEC adaptativas y de-duplicación de data. Asimismo, en la tabla 4-5 se detalla el tipo de aplicaciones que esta solución puede optimizar, según el fabricante.

**Tabla 4- 5: Tipos de aplicaciones optimizadas por Silver Peak NX.**

[62]

<b>Categoría de aplicación</b>	<b>Ejemplos</b>
Aplicaciones de backup y recuperación	Herramientas de backup y replicación asíncrona de fabricantes como EMC, HDS, Dell, IBM, HP, NetApp, entre otros.
Aplicaciones TCP tradicionales	Compartición de archivos (CIFS, NFS, FTP, Apple), correo electrónico (MS Exchange, Notes, SMTP), Microsoft Sharepoint, Web HTTP(s), SAP, entre otros.
Aplicaciones no-TCP	VMware VDI, Sunray, MIMIX, Aspera, FCIP, Voice/Video, VPLEX, and more.
Aplicaciones interactivas	Infraestructuras de escritorios virtuales (VDI) de fabricantes como VMware, Citrix, Microsoft, Sun. Aplicaciones SQL (Oracle, Microsoft, MySQL, Sybase, Informix, IBM, entre otras.
Aplicaciones en tiempo real	Voz sobre IP (VoIP), videoconferencia, transmisión de video, comunicaciones unificadas.

Para el caso particular de aceleración de aplicaciones SaaS, Silver Peak cuenta con la solución de Unity EdgeConnect, la cual consiste en la utilización de equipos adicionales a los de la familia NX en la sede de los clientes y que reciben información del servicio denominado Cloud Intelligence, con el cual los dispositivos constantemente intercambian actualizaciones acerca del estado de las posibles rutas de Internet hacia las aplicaciones SaaS, de manera que puedan identificar y seleccionar de forma dinámica la ruta más rápida, menos congestionada y de más alta disponibilidad [63]. Por lo tanto, se trata de una solución que depende de la cantidad de equipos del fabricante que se tenga desplegado a lo largo de las redes de sus clientes. En la figura 4-4 se muestra una arquitectura propuesta para la aceleración de tráfico hacia Office 365 en la nube.

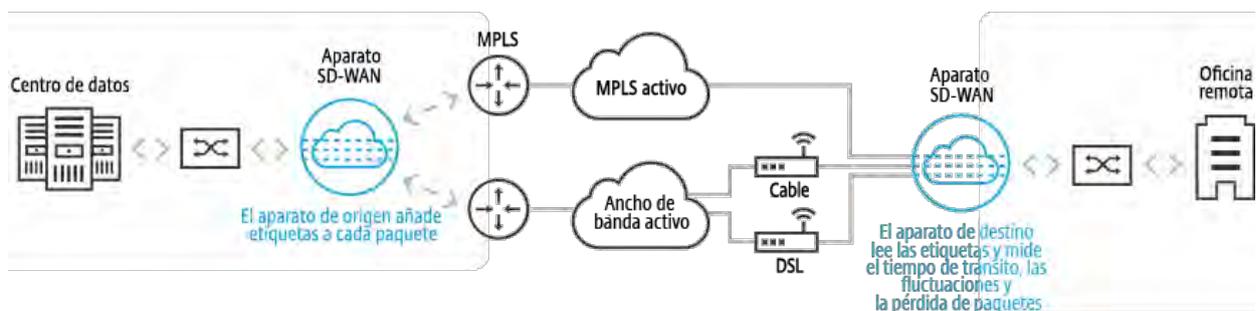


**Figura 4- 4: Arquitectura de aceleración de Office 365 con Silver Peak.**

[64]

#### 4.1.4.2.3 Citrix

El fabricante Citrix es mayormente conocido por el uso de arquitecturas de virtualización de aplicaciones y escritorios remotos en lo que se conoce como Infraestructura de Escritorio Virtual (o VDI, por sus siglas en inglés); sin embargo, en el rubro de aceleración WAN también se encuentra entre los fabricantes con mayor presencia con un manejo de aproximadamente 5.1% del mercado, según Gartner [54]. Mediante el uso de su plataforma Citrix SD-WAN (anteriormente llamada CloudEdge y luego NetScaler), Citrix ofrece equipos tanto físicos como virtuales de aceleración WAN que además vienen preparados para el despliegue de una arquitectura de WAN Definida por Software (SD-WAN) [65]. Esta hace referencia al envío de la información a través de las diversas conexiones WAN que se puedan contar en la sede de la empresa, pero teniendo en cuenta parámetros como pérdidas, latencia, jitter y congestión en cada enlace en tiempo real para así garantizar que las aplicaciones más críticas siempre se envíen a través de la ruta más óptima [65], según se observa en la figura 4-5.



**Figura 4- 5: Topología de aceleración con WAN Definida por Software.**

[65]

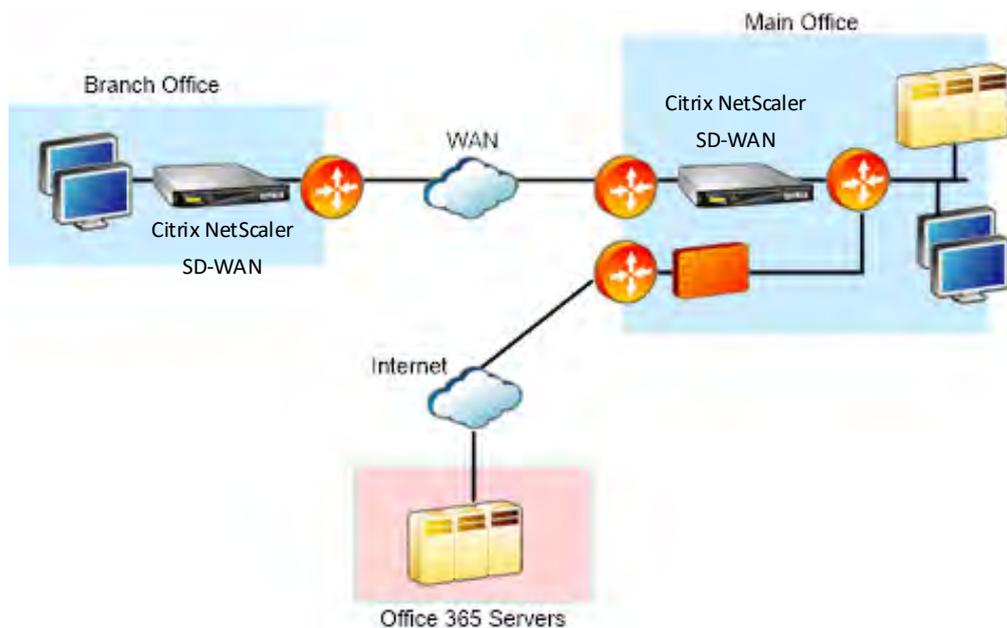
Asimismo, se utilizan las técnicas tradicionales de aceleración WAN y sus beneficios según lo que el propio Citrix describe en la tabla 4-6.

**Tabla 4- 6: Características y beneficios de la solución Citrix SD-WAN.**

Elaboración propia basada en [65].

<b>Característica</b>	<b>Beneficios</b>
Compresión	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incremento en velocidad de transferencia de archivos.</li><li>• Ratios de compresión de hasta 10 000 a 1.</li><li>• Independiente de la aplicación.</li></ul>
Aceleración de protocolo TCP	<ul style="list-style-type: none"><li>• Optimización de todas las conexiones TCP.</li><li>• Incrementa utilización del ancho de banda efectivo del enlace.</li><li>• Eliminación de congestión.</li><li>• Minimización de retardos por retransmisiones.</li></ul>
Aceleración de protocolos Citrix XenApp / XenDesktop (HDX)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compresión optimizada para cada tipo de servicio (escritorio, video, transferencia de archivos, entre otros).</li><li>• Limitación de tráfico optimizado para cada servicio.</li><li>• Encriptación de tráfico punto a punto.</li><li>• CIFS, MAPI, FTP, HTTP</li></ul>

Sin embargo, hasta la finalización de la presente tesis no se encontró documentación alguna sobre aceleración hacia la nube de tipo SaaS. El único escenario mencionado para aceleración del tráfico de Office 365 en particular implica una topología de tipo backhauled según se muestra en la figura 4-6, similar a aquella que se mencionó para el caso de la solución de Cisco WAAS en la sección 4.1.4.2.1 de la presente tesis. Por lo tanto, se cuenta con aceleración solamente en el segmento conformado por la sede remota y la sede principal de la empresa. Finalmente, si bien Citrix indica en [66] que cuenta con una fuerte asociación con Microsoft de más de 25 años, este no está enfocado en lo que se refiere a aceleración WAN, sino más bien a la plataforma de virtualización de aplicaciones y escritorios: Citrix XenApp y XenDesktop, respectivamente, dentro de la cual se pueden incluir aplicaciones pertenecientes a la suite de Office 365 como Skype for Business.



**Figura 4- 6: Escenario de aceleración SaaS con WAN de tipo backhauleado.**  
[67]

#### 4.1.4.2.4 GFI Software (Exinda)

La solución de Exinda, recientemente adquirida por la compañía GFI Software, cuenta como principal solución una plataforma de orquestación de red que está compuesta por tres características principales según el fabricante indica en [68]:

- **Monitoreo:** clasificación y análisis automático de tráfico a nivel de capa 7 y del desempeño de la salud TCP de la red, reportes personalizados de planificación de red y de performance de aplicaciones.
- **Control:** limitación de tráfico dedicado para asignación de ancho de banda de forma dinámica y programada, priorización de aplicaciones y/o usuarios.
- **Optimización:** referido al uso de técnicas de caché de tráfico web, de-duplicación de data, aceleración WAN de aplicaciones frecuentes como CIFS, HTTP, HTTPS, FTP, o similares y compresión de tráfico TCP mediante el uso de un par de dispositivos aceleradores.

Sin embargo, hasta la culminación de la presente tesis no se encontró documentación acerca de alguna solución para aceleración de tráfico hacia la nube de tipo SaaS. En efecto, el propio Gartner indica que una de las principales observaciones que realiza en su estudio a Exinda es que no cuenta con una visión clara acerca del desarrollo de arquitecturas orientadas a nube como por ejemplo soluciones de WAN Definida por Software (SD-WAN) ni soporta funcionalidades como balanceo de enlaces o elección óptima de rutas [54]. Dado que su principal fuerte radica en la característica de control o limitación de tráfico dedicado y este

puede también darse hacia tráfico de Internet, Exinda solo menciona en [69] algunas recomendaciones a tener en cuenta para contar con un tráfico más optimizado hacia Office 365 como:

- A través de su característica de monitoreo, obtener una mayor visibilidad de qué otras aplicaciones no críticas para el negocio puedan estar teniendo un impacto negativo en el uso de ancho de banda de la red de la empresa.
- Con la misma herramienta de monitoreo, determinar el performance del tráfico de Office 365.
- Haciendo uso de la herramienta de control, asegurar un ancho de banda determinado para el tráfico de Office 365, implementar políticas de Calidad de Servicio (QoS) para priorizarlo y restringir el uso de ancho de banda de aplicaciones que no sean críticas para el negocio.

#### **4.1.4.2.5 Broadcom (Symantec / BlueCoat Systems)**

La empresa BlueCoat Systems, adquirida en un inicio por la corporación de seguridad informática Symantec y posteriormente adquirida por la compañía Broadcom, ofrece principalmente dos soluciones en este rubro: el MACH5 para aceleración WAN (duplicación de data, compresión, caching inteligente) y el PacketShaper para visibilidad, clasificación de tráfico y Calidad de Servicio (QoS) [54]. Ambas soluciones están orientadas a aceleración entre dos o más sedes remotas o hacia Internet, en el caso del PacketShaper.

A nivel de aplicaciones SaaS, Broadcom no precisa de una solución de aceleración como tal. Dado que la empresa se mantiene en línea con los productos de seguridad informática de Symantec, lo que la compañía misma sugiere es el uso de su servicio en nube denominado Web Security Service, el cual se trata de un conjunto de data centers a nivel global que se interconectan con diversas aplicaciones SaaS para brindar soluciones de seguridad orientadas a ellas a nivel de filtrado de URLs, gestión de autenticación de usuarios, prevención de fugas de datos (DLP), entre otras [70]. En el caso particular de Office 365, Broadcom indica que existe una fuerte asociación con Microsoft el cual se originó principalmente para automatizar y facilitar el proceso de gestión de las políticas de seguridad hacia Office 365, como por ejemplo la asignación de las cambiantes IPs públicas de sus servicios [71]. En ese sentido, la solución de aceleración de tráfico de Office 365 a la que Broadcom hace referencia ocurre entre su nube Web Security Service y los principales data centers de Microsoft a través de ciertos puntos de interconexión los cuales cuentan con optimización de ancho de banda y baja latencia [71]. Por otra parte, también sugiere el uso de la solución de PacketShaper como herramienta de priorización de tráfico de Office 365 hacia Internet y reserva de un determinado ancho de banda para el mismo [71].



**Figura 4- 7: Integración entre Web Security Service de Broadcom y Office 365.**  
[71]

#### 4.1.4.2.6 Riverbed Technology

La compañía Riverbed se encuentra entre las más importantes en el rubro de aceleración WAN al contar con los mayores ingresos de este mercado según Gartner en [54] (control de mercado del 51,3% al 2016). Su principal objetivo es el de proveer un sistema unificado de optimización, visibilidad y control del tráfico a través de la WAN híbrida: tanto entre sedes de una misma empresa como hacia la nube en cualquiera de sus tipos [54]. Su solución de aceleración viene dada por el equipo físico SteelHead CX el cual siempre requiere trabajar en pares para aplicar las técnicas de optimización ya conocidas como de-duplicación de data, compresión, optimización protocolos de aplicaciones CIFS/SMB, SSL, HTTP, MAPI, reducción de conexiones TCP para minimizar latencia, entre otras [72].

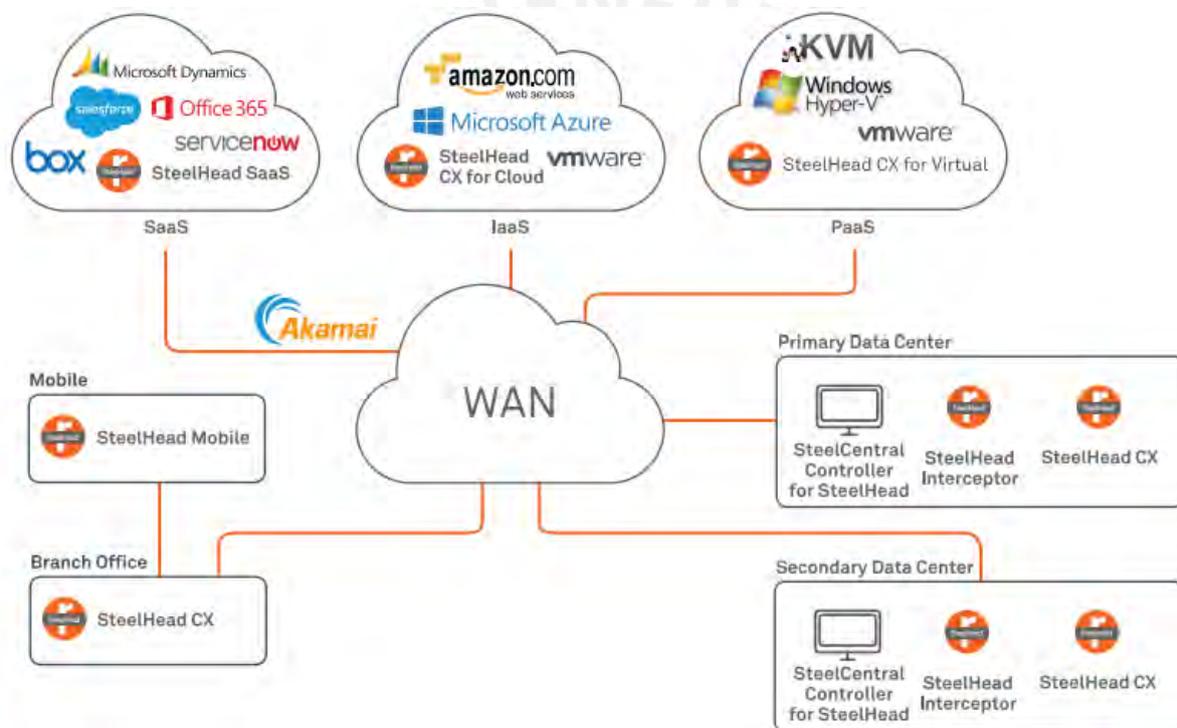
Según lo que indica Riverbed en [72], se ofrece la posibilidad de realizar aceleración en diversos entornos con cada uno de sus distintos despliegues y modelos de SteelHead, tal como se muestra en la figura 4-8. En la tabla 4-7 se muestra además un resumen de sus descripciones.

**Tabla 4- 7 : Despliegues de solución de aceleración de Riverbed.**

Elaboración propia basada en [72].

Modelo - Despliegue	Descripción
SteelHead CX	Solución tradicional de aceleración WAN pensada para entornos de interconexión entre sedes a través de MPLS o Internet.
SteelHead Mobile	Solución de aceleración WAN dedicada al dispositivo final (laptops con sistemas operativos Windows o Mac) para escenarios donde este se encuentre fuera de la sede de la empresa.
SteelCentral Controller for SteelHead	Solución complementaria de gestión centralizada para los equipos SteelHead desplegados en diversas sedes.

SteelHead Interceptor	Solución complementaria de clustering, balanceo de carga y alta disponibilidad entre dos o más equipos SteelHead CX de la sede principal.
SteelHead CX for Virtual	Solución orientada a entornos en nube virtuales de tipo Plataforma como Servicio (PaaS) de soluciones como VMware vSphere, Hyper-V de Microsoft y KVM de Linux.
SteelHead CX for Cloud	Solución de tipo suscripción para aceleración de tráfico hacia infraestructura en nube alojada en proveedores de tipo IaaS como Amazon Web Services o Microsoft Azure.
SteelHead SaaS	Solución de tipo suscripción para aceleración de tráfico hacia aplicaciones en nube de tipo Software como Servicio (SaaS) como Salesforce, Box, ServiceNow, Office 365, Dynamics 365.



**Figura 4- 8: Tipos de despliegues de la solución de aceleración WAN de Riverbed.**

[72]

En el caso particular de la aceleración hacia la nube de tipo SaaS, tal como se menciona en la tabla 4-7, Riverbed indica la solución denominada SteelHead SaaS, la cual funciona mediante una suscripción periódica [73]. Esta implica también el uso de la red del proveedor de Red de Distribución de Contenido Akamai Intelligent Platform, la cual se trata de una plataforma distribuida de forma global y que está especializada en optimizar el enrutamiento de tráfico a través de la red pública de Internet [73]. Sobre ella, se permite la creación instantánea de un equipo virtual SteelHead lo más cerca posible del data center de la

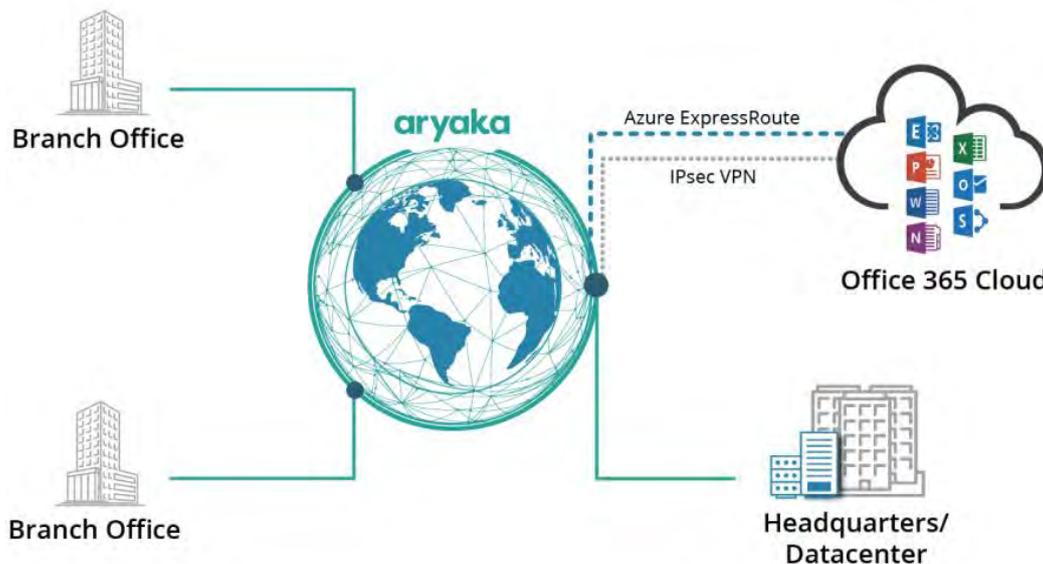
aplicación, gracias al acuerdo comercial que cuenta con cada uno de ellos [73]. Este es el caso, por ejemplo, de Office 365.

#### **4.1.4.2.7 Sangfor Technologies**

La compañía Sangfor Technologies es relativamente nueva en el mercado de aceleración WAN. Según Gartner, su presencia aún está muy limitada al país de China, de donde proviene, y se encuentra en proceso de expansión [54]. Su principal solución de aceleración, el WANO (WAN Optimization), soporta una gran variedad de funcionalidades como compresión, caché, optimización TCP, UDP, HTTP/HTTPS, CIFS, ICA, y características de Calidad de Servicio (QoS); sin embargo, se trata de una solución que está mucho más orientada a escenarios de interconexión entre sedes remotas - sede principal en arquitecturas de WAN privada puesto que presenta mayores limitaciones a la hora de trabajar sobre entornos en nube y de WAN híbrida [54]. En ese sentido, hasta el término de la presente tesis no se encontró documentación alguna sobre integración de la solución de aceleración con aplicaciones en nube de tipo SaaS. Por estas limitaciones, Gartner lo posiciona en su cuadrante en la categoría más baja: “jugadores de nicho”.

#### **4.1.4.2.8 Aryaka**

La compañía Aryaka ofrece una solución de optimización WAN como servicio a través de la implementación de Puntos de Presencia (POP) ubicados de manera global, los cuales le permiten además brindar otros servicios como Redes de Distribución de Contenido, conectividad hacia Internet, visibilidad y reporte [54]. Una de las ventajas principales es que se integra fácilmente a redes de clientes en donde es posible que estos gestionen los routers de borde para salida a Internet, puesto que Aryaka mismo ofrece su propio equipo router denominado Aryaka Network Access Point [54]. En el caso particular de aceleración hacia la nube, Aryaka también ofrece su servicio denominado SmartCONNECT SD-WAN, el cual hace uso de sus POPs globales para formar una red que ya cuenta con la implementación de las diversas técnicas de aceleración WAN y que ofrece una conexión cercana y de baja latencia con los data centers de los principales aplicativos SaaS empresariales como Salesforce, Office 365, SAP, entre otros. [74].



**Figura 4- 9: Servicio SmartCONNECT SD-WAN para acceso optimizado a Office 365.**

[74]

#### 4.1.4.2.9 Soluciones de software libre

Al igual que en la mayoría de las soluciones de networking, para el caso de aceleradores WAN existe soluciones de tipo software libre (también denominadas open source) que buscan brindar los mismos beneficios de un acelerador tradicional a nivel de la aplicación de técnicas de reducción de latencia, optimización TCP, compresión y de-duplicación de data, entre otras; pero con el principal diferencial de no requerir de una fuerte inversión de dinero en equipamiento físico ni licencias. Al ser de software libre, son los propios usuarios finales (no empresas o fabricantes) los cuales desarrollan de manera independiente los diversos algoritmos y los integran en soluciones que distribuyen gratuitamente en Internet como por ejemplo OpenNOP, The Toffee Project, SoloWAN, entre otros. Sin embargo, dado que se trata de desarrollos más básicos e independientes, al término de la presente tesis no se encontró documentación sobre integración con aceleración en la nube en ninguno de sus casos, menos aun la de aplicaciones SaaS. Su único esquema de funcionamiento entonces aún está limitado a nivel de topologías WAN de tipo sede remota – sede principal. Asimismo, no se cuenta con aceleración de aplicaciones críticas como HTTP ni SSL.

#### 4.1.4.3 Evaluación de aceleradores WAN

En función a la descripción de las soluciones de aceleradores WAN ofrecidas por los diversos fabricantes, se evaluará el cumplimiento de los criterios previamente mencionados y en base a ello se les asignará un puntaje (del 0 al 2) según la misma metodología de la sección 4.1.2 “Evaluación de alternativas de solución”, estos puntajes se detallaron en la tabla 4-1. Por otro

lado, para el criterio de la ubicación del fabricante en el Cuadrante Mágico de Gartner, la valoración se dará según lo descrito en la tabla 4-8, acorde a la valoración del propio Gartner en [54].

**Tabla 4- 8: Criterio de asignación de puntajes según ubicación en el Cuadrante Mágico de Gartner.**

Elaboración propia basada en [54].

<b>Ubicación en el Cuadrante Mágico de Gartner</b>	<b>Puntaje asignado</b>
Líder	4
Visionario	3
Retador	2
Jugador de nicho	1
No aplica (sin ubicación)	0

A continuación, en la tabla 4-9 se resume el análisis del cumplimiento de cada uno de los criterios junto a su justificación para las siguientes fabricantes de soluciones de aceleración WAN.

**Tabla 4- 9: Evaluación de aceleradores WAN.**

Elaboración propia.

Fabricante	Solución involucrada	¿Variedad de técnicas de aceleración WAN?		¿Posibilidad de elegir equipo físico o virtualizado?		¿Capacidad de optimización hacia la nube SaaS?		Ubicación en el Cuadrante Mágico de Gartner
		Rpta. T/N/P	Justificación	Rpta. T/N/P	Justificación	Rpta. T/N/P	Justificación	
<b>Cisco Systems</b>	WAAS / WAVE	T	Caché, de-duplicación y compresión de data, optimización TCP, BIC TCP, SACK.	T	Solución en versión física (módulo WAAS) o virtual (WAVE)	N	Aceleración únicamente posible en el segmento sede remota – sede principal en un modelo de WAN backhauled. Desde allí se propone priorización de tráfico a de Office 365.	Líder
<b>Silver Peak</b>	Silver Peak NX / Unity EdgeConnect / Cloud Intelligence	T	De-duplicación de data, manejo de ventanas TCP, FEC adaptativo, aceleración CIFS, FTP, SMTP, VDI, HTTP.	T	Solución NX y EdgeConnect pueden ser equipos físicos o máquinas virtuales.	T	Servicio Cloud Intelligence en constante intercambio de actualizaciones con equipos Unity EdgeConnect acerca del estado de rutas de Internet hacia Office 365 en cuanto a latencia y utilización de ancho de banda.	Líder
<b>Citrix</b>	NetScaler SD-WAN	T	Compresión, optimización TCP, aceleración CIFS, MAPI, FTP, HTTP, video, escritorio remoto	T	Solución NetScaler SD-WAN puede ser equipo físico o máquina virtual.	N	Aceleración únicamente posible en el segmento sede remota – sede principal en un modelo de WAN backhauled. Desde allí se propone priorización de tráfico a de Office 365.	Retador
<b>GFI Software (Exinda)</b>	Exinda	T	De-duplicación de data, optimización TCP, aceleración CIFS, HTTP, HTTPS, FTP	T	Solución Exinda puede ser equipo físico o máquina virtual.	N	No se encontró documentación alguna sobre aceleración hacia la nube de tipo SaaS hasta la culminación de la presente tesis.	Visionario
<b>Broadcom (BlueCoat/ Symantec)</b>	MACH5 / Packet Shaper / Web Security Service	T	De-duplicación de data, caching inteligente, QoS, aceleración MAPI, CIFS, HTTP, SSL, SAP, CAD.	T	Solución MACH5 y PacketShaper pueden ser equipos físicos o máquinas virtuales.	T	Servicio “Web Security Service” es una red nube global con conexión optimizada y de baja latencia hacia data centers de Microsoft debido a su cercanía física.	Jugador de nicho
<b>Riverbed Technology</b>	SteelHead CX / SteelHead SaaS	T	De-duplicación de data, optimización TCP, QoS, aceleración HTTP, SSL MAPI, SMB, SAP, CAD	T	Solución SteelHead CX puede ser equipo físico o máquina virtual.	T	Solución SteelHead SaaS ofrece a través de licenciamiento la aceleración WAN hacia Office 365 haciendo uso de un convenio con la CDN de Akamai y con Microsoft.	Líder
<b>Sangfor</b>	WANO	T	Compresión, caché, optimización TCP, UDP, HTTP, SSL, CIFS, ICA, QoS.	T	Solución WANO puede ser equipo físico o máquina virtual.	N	No se encontró documentación alguna sobre aceleración hacia la nube de tipo SaaS hasta la culminación de la presente tesis.	Jugador de nicho
<b>Aryaka Networks</b>	ANAP / SmartCONNECT	P	Compresión y optimización TCP. No se detalla aceleración de aplicaciones.	N	ANAP se trata de un equipo que reemplaza un router de ISP, solo se ofrece en versión física.	T	Servicio SmartCONNECT es una red nube global con conexión optimizada y de baja latencia hacia data centers de Microsoft debido a su cercanía física.	Visionario
<b>Software libre</b>	Wanos, OpenNOP, The Toffee Project, SoloWAN y otros.	P	Sin soporte de aceleración HTTP, SSL, CIFS. Solo de-duplicación de data, compresión y optimización TCP.	N	Desarrollos de este tipo únicamente disponibles en versión virtual.	N	No se encontró documentación alguna sobre aceleración hacia la nube de tipo SaaS hasta la culminación de la presente tesis.	No aplica

#### 4.1.4.4 Resultados de la evaluación del acelerador WAN

En base al análisis realizado y la calificación del cumplimiento del criterio, en la tabla 4-10 se tiene la asignación de puntajes correspondiente a cada una de las soluciones de los fabricantes.

**Tabla 4- 10: Asignación de puntajes a fabricantes.**

Elaboración propia.

Fabricante	Puntaje parcial				Puntaje total
	Variedad de técnicas de aceleración WAN	Posibilidad de elegir equipo físico o virtualizado	Capacidad de optimización hacia la nube SaaS	Ubicación en el Cuadrante Mágico de Gartner	
Cisco Systems	2	2	0	4	8
Silver Peak	2	2	2	4	10
Citrix	2	2	0	2	6
GFI Software (Exinda)	2	2	0	3	7
Broadcom (BlueCoat / Symantec)	2	2	2	1	7
Riverbed Technology	2	2	2	4	10
Sangfor	2	2	0	1	5
Aryaka Networks	1	0	2	3	6
Software libre	1	0	0	0	1

Como se observa en la tabla 4-10, existen cuatro fabricantes que ofrecen alguna solución de aceleración hacia la nube para Office 365: Silver Peak, Riverbed, Symantec (BlueCoat) y Aryaka. Sin embargo, estos dos últimos no serán considerados debido a su menor puntaje con respecto a los dos primeros en lo que respecta al uso de variedad de técnicas de aceleración WAN y su posicionamiento en el Cuadrante Mágico de Gartner. En efecto, de acuerdo con la asignación de puntajes, son Silver Peak y Riverbed los dos fabricantes que cuentan con la mayor calificación al no solamente ofrecer las soluciones de aceleración WAN para Office 365 más completas, sino que además cumplen a totalidad el resto de los criterios.

Para poder trabajar con alguna de las soluciones ofrecidas por estos fabricantes, se propone escoger aquella que en su forma de despliegue implique la mayor reducción de latencia,

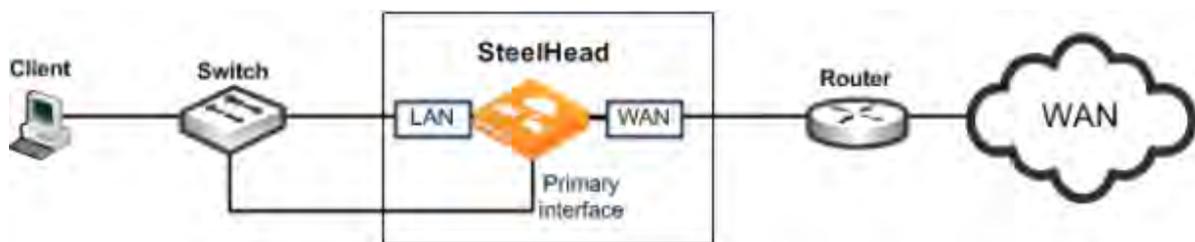
entendida para este caso como aquella que depende principalmente de la menor distancia física entre los dos nodos de interés: la sede del usuario final y el data center de Microsoft que brinde el acceso a Office 365. En ese sentido, para fines de implementación de la presente tesis se optará por la solución de Riverbed SteelHead SaaS pues, como indica el fabricante en [75], implica el despliegue automático de un equipo acelerador WAN virtual en la CDN de Akamai en el punto más cercano al data center de Microsoft al que el usuario esté accediendo, de manera que se tiene una aceleración de extremo a extremo. Mientras tanto, en el caso de la solución Unity EdgeConnect de Silver Peak, junto con su servicio Cloud Intelligence ofrecen el acceso a una red propia del fabricante que ya está optimizada y que tiene información constante acerca del estado de las rutas de Internet hacia Office 365, como se mencionó en la sección 4.1.4.2.2, pero que no necesariamente implica el despliegue de un equipo acelerador lo más cerca posible del centro de datos de Microsoft.

## 4.2 Estudio de la solución propuesta

En la presente sección se realizará el estudio de la solución conformada por SteelHead SaaS de Riverbed para aceleración WAN en el acceso a Office 365. Este estudio se da producto de los resultados del análisis realizado previamente y de ninguna manera debe ser considerado como un aval o promoción de la compañía Riverbed por encima de cualquier otro de sus competidores.

### 4.2.1 Despliegue en serie

Según lo que indica Riverbed en [76], la forma más habitual de despliegue del acelerador SteelHead CX en la sede donde se encuentran los usuarios accederán a las aplicaciones de la WAN es el despliegue en serie o “in-path”. Esto implica que el acelerador se ubicará físicamente entre el router de salida a Internet y la LAN de la empresa tal como se muestra en la figura 4-10.



**Figura 4- 10: Despliegue de SteelHead en serie.**

[76]

Asimismo, en este despliegue intervienen 3 interfaces principales las cuales están descritas en la tabla 4-11.

**Tabla 4- 11: Interfaces del acelerador SteelHead CX.**

Elaboración propia basada en [76].

Interfaz	Tipo	Descripción
LAN	Física	Utilizada para conexión a la red LAN de la empresa: switch core, switch de acceso o similares.
WAN	Física	Utilizada para conexión al segmento de red WAN de la empresa: firewall, router del ISP o similares.
Primary	Física	Utilizada para gestión del equipo y sincronización de la base de datos del equipo con su par en el otro extremo.
In-path	Lógica	Conformada por el puente entre las interfaces LAN-WAN, es la encargada de realizar la aceleración junto con la interfaz in-path del acelerador par en el otro extremo.

#### 4.2.2 Características de aceleración

A través del software Riverbed Optimization System (RiOS) integrado en el SteelHead CX se manejan todas las principales técnicas de aceleración WAN, esto se realiza mediante la interceptación de las conexiones cliente-servidor que pasan a través de él [31]. La aceleración del tráfico se realiza en tres niveles: data, transporte y aplicaciones.

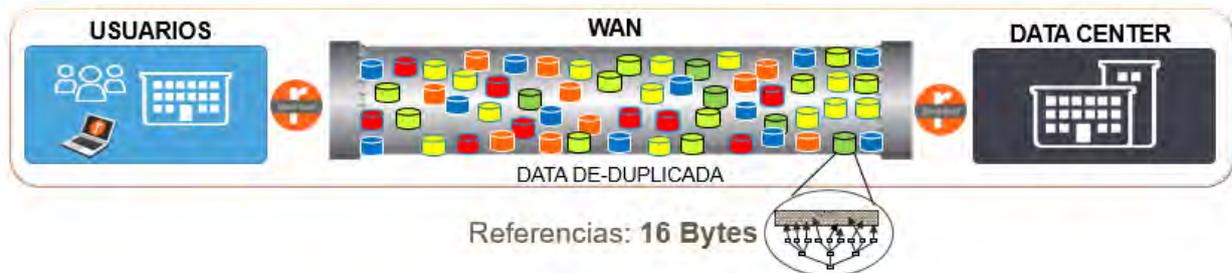
##### 4.2.2.1 Optimización de datos

Este nivel de optimización comprende todo lo relacionado a los datos en sí, independientemente de qué aplicación o protocolo utilicen. Bajo esta premisa, Riverbed plantea el uso de las siguientes técnicas:

- De-duplicación de data: mediante este proceso se logra remover la mayor cantidad de data en la WAN. Dado que muchas veces la misma información es accedida repetidas veces por los usuarios de la red, esta técnica hace uso de la redundancia de su contenido para no tener que volver a enviarla si ya ha sido previamente vista por el acelerador, sino que en su lugar envía solo pequeñas referencias de 16 bytes las cuales indican que esta data ya es conocida y que puede ser regenerada localmente [31].
- Referenciación escalable de datos: esta técnica permite que el par de aceleradores realice una fragmentación de los archivos o datos que pasen a través de ellos, los almacenen en su memoria y establezcan una referenciación sincronizada a cada uno de estos fragmentos [31]. Esta técnica funciona de la mano con la de-duplicación de data para el envío únicamente de referencias a través de la WAN y se realiza de manera totalmente independiente al protocolo, puerto o aplicación que se utilice.

Además, el mecanismo utilizado por defecto para liberación de memoria es el Least Recently Used (LRU) [13].

- Compresión adaptativa: hace referencia al uso inteligente de compresión de data. El acelerador SteelHead trabaja con el algoritmo de Lempel-Ziv-Welch (LZW) y modifica automáticamente su ratio de compresión en función al estado actual de la WAN [13].



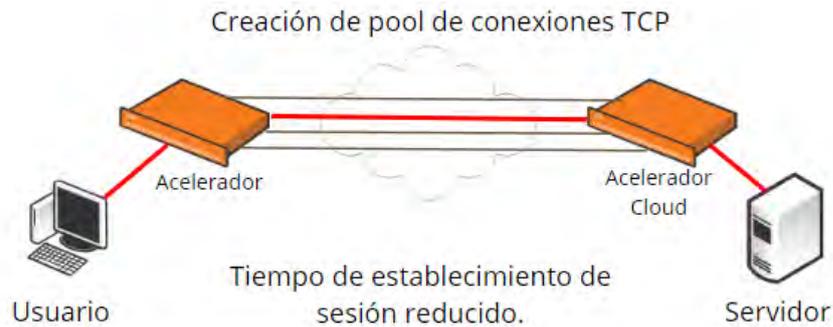
**Figura 4- 11: De-duplicación de data y referenciación escalable de datos.**

Elaboración propia basada en [13].

#### 4.2.2.2 Optimización de transporte

Este nivel hace referencia a la optimización en la capa de transporte con la finalidad de reducir el impacto de la latencia. Lo que se busca es hacer que las conexiones TCP se realicen de manera más eficiente, lo cual resulta en reducir significativamente la cantidad de viajes de ida y vuelta y la cantidad de data que se envía por cada viaje [30]. Se hace uso de técnicas como:

- Manejo de ventanas TCP: el acelerador SteelHead negocia los tamaños más óptimos a los que se debe ajustar las ventanas TCP para minimizar el impacto de la latencia en la transmisión de datos [30]. A diferencia del proceso TCP “slow start”, en donde se envía información en pequeños fragmentos y se va aumentando su tamaño hasta que el servidor no puede soportar más y reinicia el proceso, la técnica de manejo de ventanas TCP evita este reinicio y envía los fragmentos únicamente en el tamaño óptimo [30].
- Pool de conexiones: esta técnica permite que se reduzca el tiempo en el que una conexión optimizada logra establecerse [31]. En ese sentido, el SteelHead crea un grupo de conexiones TCP que inicialmente se encuentran en estado “idle” de manera que, cuando un cliente trata de crear una nueva conexión con un servidor previamente visitado, el acelerador utiliza una conexión TCP disponible de su pool [31]. Con esto se logra que tanto el cliente como el acelerador no tienen que esperar hasta que el proceso de negociación en 3 pasos en la WAN termine.



**Figura 4- 12: Pool de conexiones TCP preestablecidas.**

Elaboración propia basada en [31].

- Detección automática TCP: esta característica del SteelHead permite que se realice una detección automática del algoritmo de optimización TCP que el otro acelerador par está usando y así poder replicarla [31].

#### 4.2.2.3 Optimización de aplicación

Este nivel hace referencia al grupo de técnicas que se utilizan para acelerar el tráfico a nivel de la capa de aplicación, para lo cual sí se toma en cuenta las características propias de cada una. Como se mencionó en la sección 4.1.4.2.6 durante la descripción de aceleradores WAN, Riverbed cuenta con aceleración de aplicaciones críticas para el negocio como SMB (CIFS), HTTP, SSL, MAPI, entre otras. Sin embargo, para el escenario de la presente tesis corresponde hacer hincapié en dos de ellas, las cuales intervienen en el tráfico hacia Office 365 a través de Internet: HTTP y SSL.

##### 4.2.2.3.1 Optimización HTTP

El módulo de optimización HTTP ofrece técnicas y algoritmos que están basadas en el funcionamiento particular de este protocolo.

- Precarga y aprendizaje de objetos: el módulo de optimización HTTP del SteelHead puede aprender cada uno de los objetos que contiene una página web y cargarlos con anticipación (sin necesidad de que el usuario lo solicite) de manera que, cuando este los requiera durante su navegación, el acelerador local actúe de servidor y se los entregue sin que haya habido necesidad de crear viajes extra en la WAN [77].
- Aprendizaje del esquema de autenticación: esto implica que el módulo de optimización HTTP pueda conocer con anticipación el esquema de autenticación que utiliza el servidor, de manera que pueda informar al cliente que necesita autenticarse contra él

sin necesidad de que el cliente tenga que realizar viajes extra de ida y vuelta para saberlo [77].

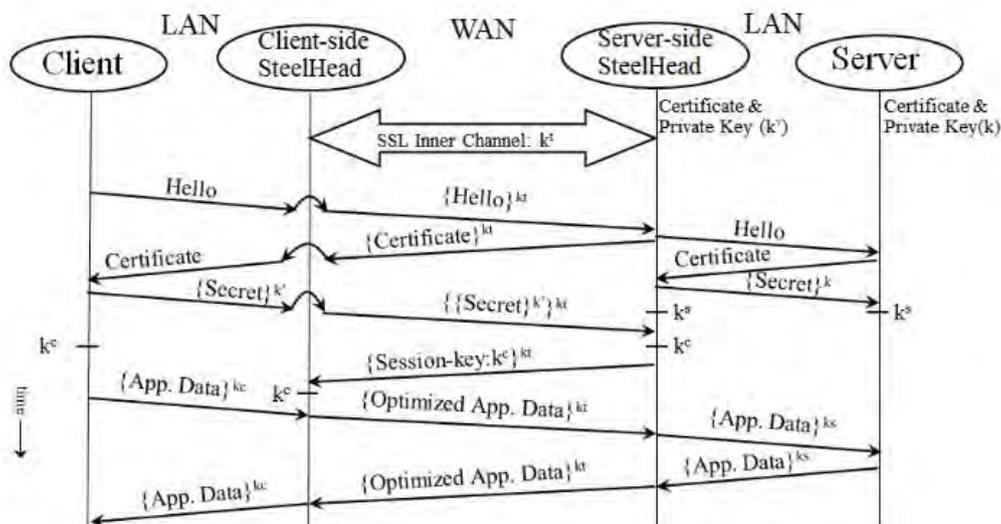
- Aprendizaje URL: esta funcionalidad permite que en sitios web con grandes cantidades de contenido estático (como imágenes o archivos de estilos, por ejemplo) estos ya no sean precargados, sino que se guarde únicamente la dirección URL que redirige hacia ellos [77]. De esta manera, se genera una base de datos de conocimiento y mediante un árbol de asociaciones el SteelHead puede saber con anticipación qué transacciones HTTP realizar en función a los sitios web que el usuario esté navegando para así evitar que se realicen viajes extra de ida y vuelta en la WAN [77].

#### 4.2.2.3.2 Optimización SSL

El módulo de optimización SSL del SteelHead permite la optimización de transferencia de data aun así esta se encuentre encriptada usando SSL y sin comprometer la seguridad y el modelo de confianza utilizado en la empresa [78]. Para esto, previamente los dos aceleradores que conforman el túnel de optimización tienen que haberse conocido previamente y haber establecido una relación de confianza, permitiéndoles así enviar información de manera segura a través de su propia conexión SSL dedicada [78]. Esto lo logran mediante el intercambio de certificados digitales siguiendo un flujo tradicional de establecimiento de conexión SSL.

Una vez establecida esta confianza, ambos aceleradores en los extremos se encargan de interceptar las conexiones SSL entre el cliente y servidor. El resultado final es que el cliente percibe que se está comunicando directamente con el servidor y viceversa, sin saber que es el SteelHead quien en realidad está terminando la conexión SSL en cada extremo [78]. Para lograrlo, previamente ha tenido que haber un intercambio de llaves privadas y certificados digitales entre el cliente y servidor con sus respectivos aceleradores, según el flujo que se describe en la figura 4-13 y en donde:

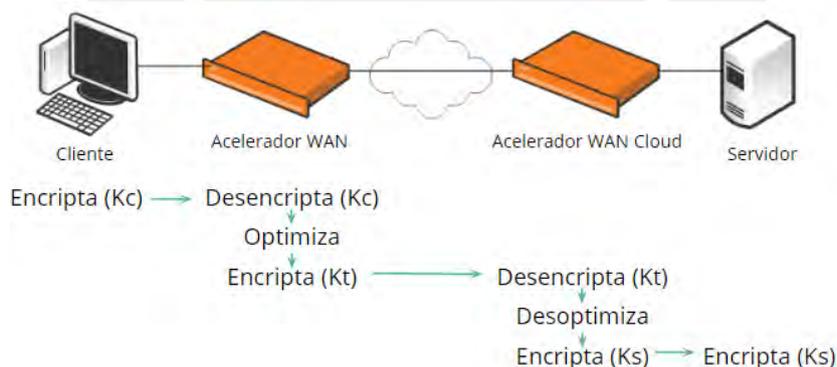
- Kc: es la llave de sesión entre el cliente que inicia la transmisión y el SteelHead del lado del servidor.
- Ks: es la llave de sesión entre el SteelHead del lado del servidor y el propio servidor.
- Kt: es la llave de sesión entre los dos SteelHead para establecimiento de la sesión segura entre ambos (canal interno).



**Figura 4- 13: Flujo para establecimiento de conexión SSL entre cliente, servidor y aceleradores.**

[78]

De esta manera, lo que finalmente se obtiene es que cuando el cliente envía su información encriptada, el SteelHead de su lado puede desencriptarla con la llave  $K_c$ , aplicar sus respectivas técnicas de optimización y nuevamente volverla a encriptar para transmitirla de manera segura a través de la WAN con la llave  $K_t$  [78]. Por otro lado, en el otro extremo ocurre el proceso opuesto haciendo uso de la llave  $K_s$  según se observa en la figura 4-14. Se tiene, entonces, la posibilidad de optimizar una de las aplicaciones más comunes de SSL y que es central en el desarrollo de la presente tesis: el tráfico HTTPS.



**Figura 4- 14: Proceso de optimización SSL.**

Elaboración propia basada en [78].

### 4.2.3 Políticas de aceleración

Para poder hacer uso de las características de aceleración previamente mencionadas, es necesario definir también de qué forma éstas se darán. Es decir, se debe poder determinar parámetros como el origen, destino, puerto, técnicas específicas a utilizar, y la acción a

ejecutar una vez que el acelerador intercepta las conexiones. Estas son las denominadas reglas en camino (en adelante “in-path rules”) las cuales se configuran únicamente en el SteelHead del lado del cliente, ya que estas políticas funcionan siempre que una conexión esté iniciándose por primera vez y es el cliente quien suele hacerlo [79]. En la tabla 4-12 se detalla los cinco tipos de acciones que se pueden ejecutar una vez que la conexión calza en una política del acelerador.

**Tabla 4- 12: Descripción de in-path rules.**

Elaboración propia basada en [79].

In-path rule	Descripción
Pass-through	Define que el tráfico que el tráfico pase por el acelerador sin ser optimizado.
Auto-discovery	Define que el tráfico pase optimizado por el acelerador hacia el SteelHead ubicado en el destino de la conexión de manera automática.
Fixed-target	Define manualmente hacia qué SteelHead se optimizará el tráfico.
Discard	Los paquetes son descartados silenciosamente.
Deny	Toda la conexión es reiniciada.

#### 4.2.4 Aceleración de Office 365

En lo que respecta a la aceleración hacia la nube de tipo SaaS se requiere de una solución particular, puesto que en este caso se cuenta con la gestión de solo uno de los dos aceleradores que conforman el par, aquel situado en la propia sede de la empresa y en donde se encuentran los usuarios que acceden a la aplicación en nube. En ese sentido, la solución de SteelHead SaaS combina la tecnología de optimización de Riverbed (RiOS) con la tecnología de optimización de Internet de la CDN de Akamai (SureRoute) al utilizar esta última como medio de transporte a través de las rutas menos congestionadas y de menor latencia, sumado al despliegue de instancias virtuales de SteelHead en los puntos más cercanos al data center de la aplicación SaaS como Office 365 [75]. En la tabla 4-13 se resumen los principales componentes que conforman la solución de SteelHead SaaS.

**Tabla 4- 13: Componentes de la solución SteelHead SaaS.**

Elaboración propia basada en [75].

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
Plataforma Inteligente de Akamai	Red distribuida de más de 100 000 servidores desplegados en más de 1000 locaciones a nivel global que brinda optimización a través de rutas de Internet. Esta plataforma despliega los SteelHeads necesarios para establecer la aceleración WAN de extremo a extremo hacia Office 365.
Optimización Akamai SureRoute	Suite de tecnologías que proveen entrega rápida de tráfico entre los diversos servidores de Akamai mediante la examinación de múltiples caminos a lo largo de Internet para encontrar la ruta más rápida, con menos falla y menor latencia.
Servidor Akamai de borde	Servidor dentro de la Plataforma Inteligente de Akamai que se encuentra más cercano al usuario final o al centro de datos de Office 365. Su ubicación es escogida de manera dinámica y es en este servidor en donde se despliega una instancia virtual de SteelHead el cual será el par del acelerador de la sede de la empresa.
SteelHead local	Equipo acelerador ubicado en la sede de la empresa en donde se encuentran los usuarios que acceden a Office 365. Contiene la característica de Akamai Cloud Proxy (ACP), el cual se trata de un componente de software que asegura que el acelerador pueda acceder a la Plataforma Inteligente de Akamai mediante el establecimiento de un túnel UDP.
Akamai Cloud SteelHead (ACSH)	SteelHead que se despliega de manera automática en el servidor Akamai de borde más cercano al centro de datos de Office 365.
Portal en nube de Riverbed	Portal web con disponibilidad ininterrumpida que permite la gestión de los servicios de aceleración SaaS y los dispositivos que la conforman.

Para el funcionamiento de esta solución, lo primero que se realiza es el registro del SteelHead local en el portal en nube de Riverbed de donde descarga una serie de reglas y obtiene las direcciones IP de todos los servidores de Microsoft donde se alojan las aplicaciones de la plataforma de Office 365 [75]. Luego, cuando el cliente busque iniciar la conexión TCP con el servidor de Office 365, el SteelHead local lo intercepta y analiza si la IP de destino se encuentra dentro del rango de IPs pertenecientes a este servicio. Si es así, el software Akamai Cloud Proxy dentro del SteelHead se encarga de establecer la conexión con la Plataforma

Inteligente de Akamai mediante una solicitud de resolución DNS para obtener la dirección IP del servidor Akamai de borde más cercano, con el que luego establece un túnel UDP [75]. Mientras tanto, será la propia Plataforma Inteligente de Akamai la que determinará la mejor ubicación dentro de su red en donde desplegar el acelerador ACSH lo más cercano posible al data center de Microsoft donde se aloja la IP de Office 365 a la que el cliente busca acceder, así como la ruta más óptima para llegar a él [75]. Una vez que el ACSH se encuentra desplegado, se establece el emparejamiento entre este y el SteelHead local y se comienza a acelerar el tráfico. El diagrama de funcionamiento de la solución SteelHead SaaS se puede observar en la figura 4-15.

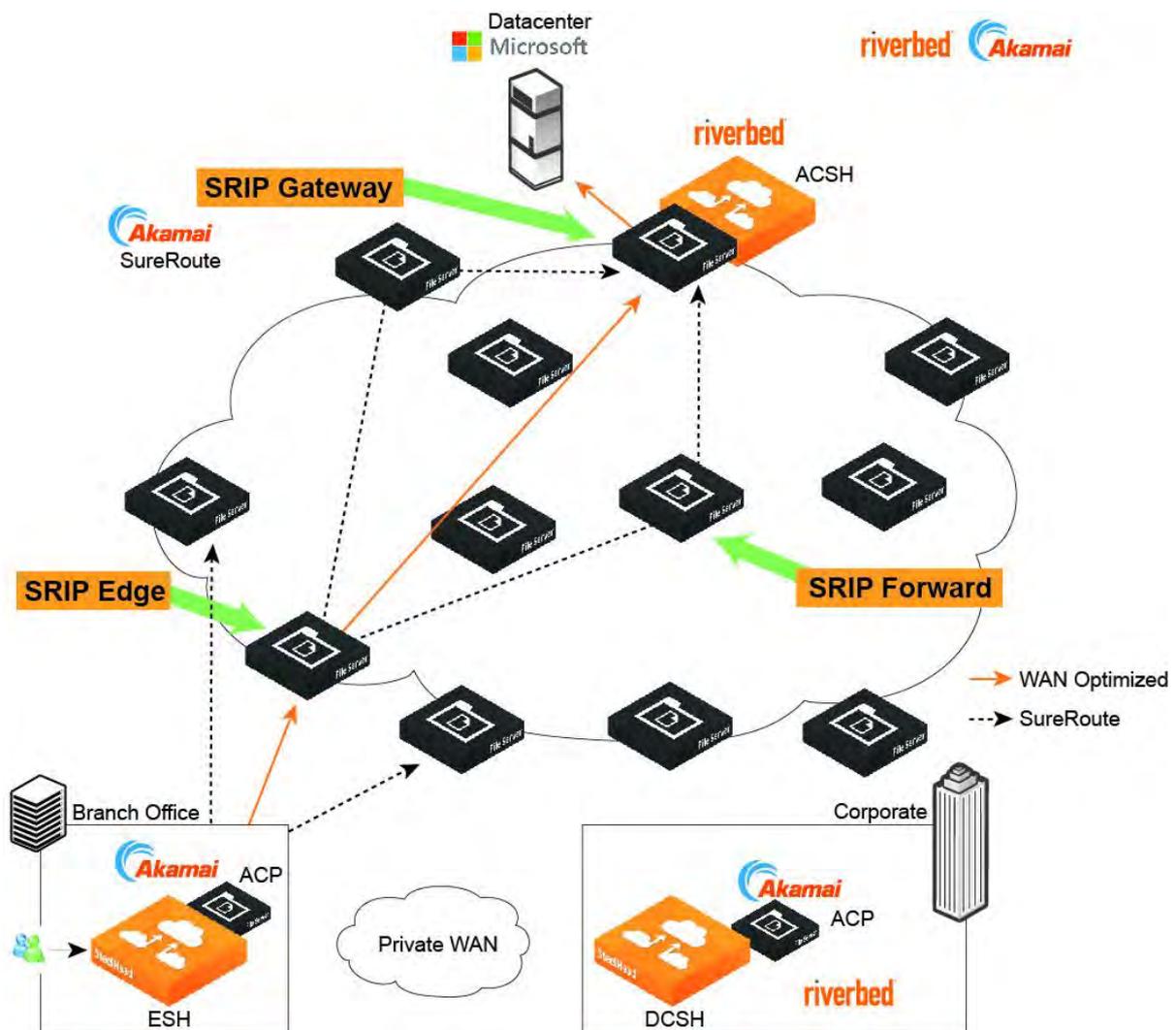


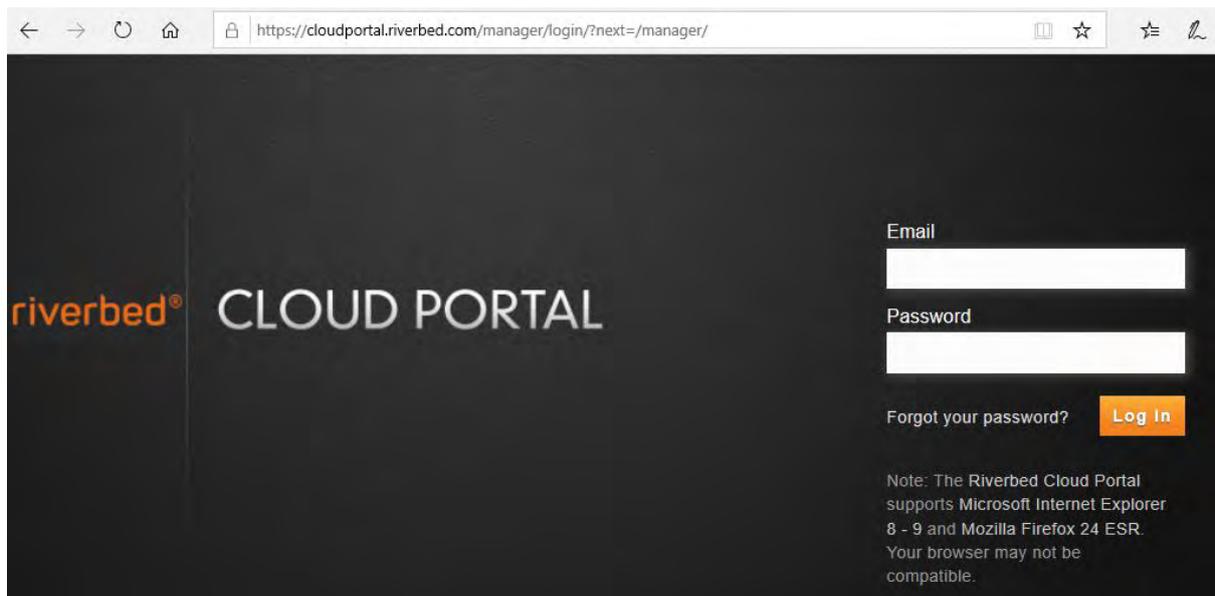
Figura 4- 15: Esquema de funcionamiento de solución SteelHead SaaS.

[75]

#### 4.2.4.1 Gestión de certificados

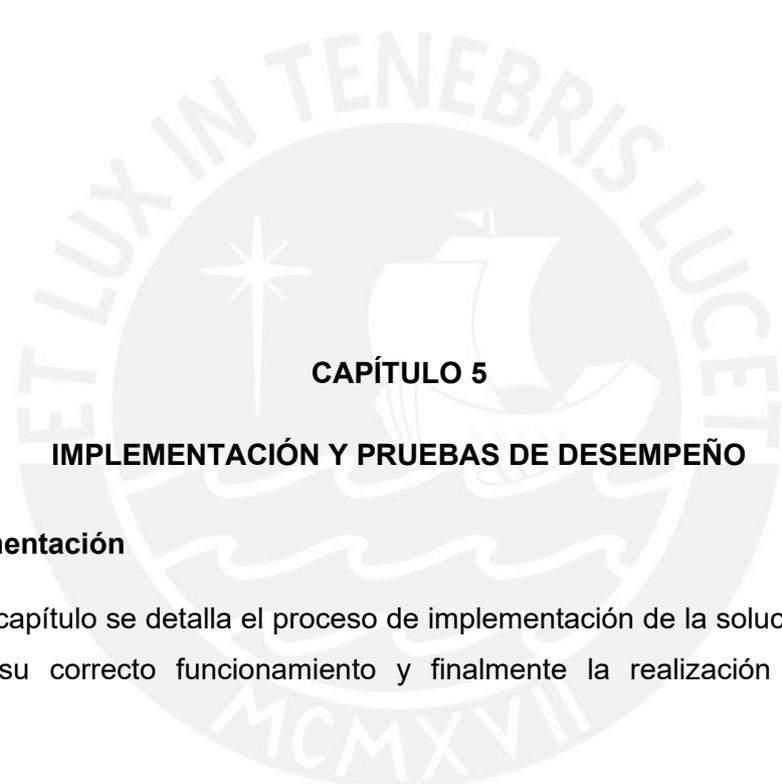
Cada acelerador SteelHead es fabricado con su propio certificado auto-firmado y llave privada que lo identifica, los cuales utiliza para el establecimiento de una conexión segura con su otro

par, tal como se mencionó en la sección 4.2.2.3.2. Sin embargo, en este tipo de solución, con la finalidad de realizar la optimización SSL es el propio Akamai el que genera los certificados digitales que emulan al certificado real de Office 365, por lo que se les llama certificados proxy [80]. Estos certificados proxy serán los que finalmente el ACSH presentará al cliente que inició la conexión, por lo que deberán ser previamente instalado en cada una de las computadoras de los usuarios que accedan a Office 365 [80]. Toda esta gestión de certificados para el ACSH se realiza el portal en nube de Riverbed, cuya vista principal de acceso puede apreciarse en la figura 4-16.



**Figura 4- 16: Portal en nube de Riverbed.**

Elaboración propia.



## **CAPÍTULO 5**

### **IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO**

#### **5.1 Implementación**

En el presente capítulo se detalla el proceso de implementación de la solución propuesta, la validación de su correcto funcionamiento y finalmente la realización de pruebas de desempeño.

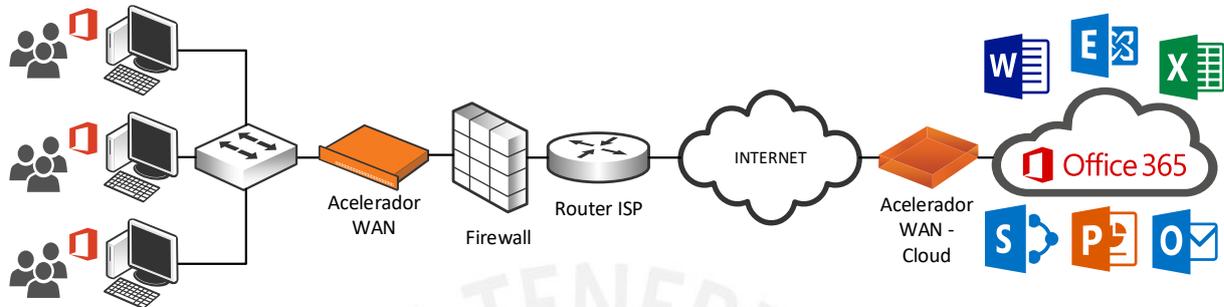
##### **5.1.1 Topología de red e información preliminar**

Para la presente implementación se tomó como base una topología de red empresarial en una sede remota básica, según lo que indica Cisco en [81]. Sobre esta topología se hizo las siguientes adaptaciones necesarias para poder realizar las pruebas deseadas:

- La WAN en este caso fue la red pública de Internet para el acceso a Office 365.
- Se colocó un equipo firewall con capacidad de limitación de tráfico para pruebas antes del router de salida a Internet.
- Acorde al despliegue en serie descrito en la sección 4.2.1 del Capítulo 4, se colocó el acelerador WAN entre el equipo firewall y el switch de la red LAN.

- Acorde a lo descrito respecto del funcionamiento del acelerador en nube ACSH visto en la sección 4.2.4 del Capítulo 4, se realizó el licenciamiento necesario para el despliegue del mismo en el otro extremo del lado del centro de datos de Microsoft.

La topología de red a nivel lógico con los cambios descritos se observa en la figura 5-1.



**Figura 5- 1: Topología general de red.**

Elaboración propia.

Para la emulación de esta topología de red se requirió de ciertos componentes y recursos, tanto físicos como virtuales. Esto se propuso así por motivos de practicidad en la implementación y también por disponibilidad en el aprovisionamiento de algunos componentes como el acelerador WAN por parte del fabricante para desplegar el escenario de implementación de la presente tesis, según se detalla en la tabla 5-1.

**Tabla 5- 1: Componentes necesarios para emulación.**

Elaboración propia.

Componente	Nombre	Tipo	Descripción
Internet dedicado	Fiberlux Perú	Servicio	Dada a través de un router físico provisto por el proveedor de servicios de Internet. Servicio de 40 Mbps 1:1.
Firewall	Fortinet FortiGate 60E	Físico	Equipo de seguridad perimetral con capacidad de aplicar políticas de limitación de tráfico para emulación de escenario de red con ancho de banda saturado. Se eligió este modelo por temas de disponibilidad.
Acelerador WAN	Riverbed SteelHead VCX-555-H	Máquina virtual	Equipo del lado de la sede de la empresa. La elección de este modelo se debió a razones de practicidad en el aprovisionamiento del equipamiento por parte del fabricante.
Estación de trabajo	Sistema Operativo Windows 7	Máquina virtual	Se requirió un equipo de usuario final para el acceso web a Office 365. La razón de la elección de una máquina virtual fue que pudiera

			gestionarse de manera centralizada junto con el equipo acelerador.
Navegador Web	Google Chrome	Software	Necesario para acceder a la plataforma de Office 365. La elección de este navegador se debió a la propia recomendación de Riverbed para ejecución de pruebas en [82].
Solución de virtualización	VMware Workstation Pro	Software	Hipervisor sobre el que se virtualizó el acelerador WAN y la estación de trabajo. Se eligió esta solución de virtualización por su disponibilidad previa.
Plataforma de productividad	Office 365 Enterprise E3	Licencia	Se contempló el uso de este tipo de licenciamiento por disponibilidad previa. Contempla principales servicios a nivel empresarial como Sharepoint, OneDrive, Skype, Exchange, entre otros [83].
Acelerador en nube	SteelHead SaaS	Licencia	Proporciona la capacidad de despliegue automático del acelerador en nube ACSH en la nube de Akamai del lado del data center de Microsoft.

A nivel de direccionamiento IP se manejó dos redes principales: la LAN y la WAN, como se detalla en la tabla 5-2.

**Tabla 5- 2: Direccionamiento IP de redes de la topología.**

Elaboración propia.

Tipo	Segmento de red	Máscara de subred	Gateway	Descripción
LAN	10.0.1.0	/24	10.0.1.1	Emula la red LAN de la empresa. Se encuentra en un entorno virtualizado.
WAN	192.168.1.0	/24	192.168.1.1	Emula la red WAN de la empresa, aquella ubicada entre el firewall y el router del ISP para la salida a Internet.

Por otro lado, el direccionamiento IP de las distintas interfaces de red y usuarios utilizados en la presente implementación se detalla en la tabla 5-3.

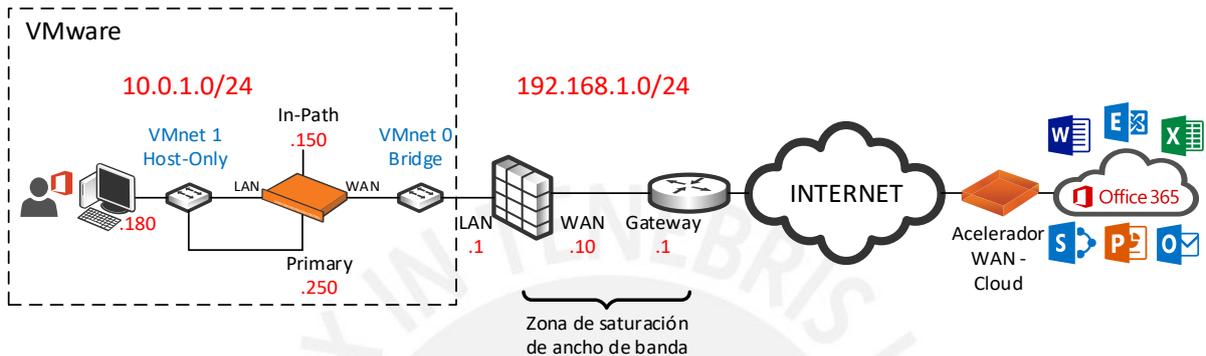
**Tabla 5- 3: Direccionamiento IP de interfaces.**

Elaboración propia.

Interfaz	Dirección IP	Máscara de subred	Gateway
Estación de trabajo	10.0.1.180	/24	10.0.1.1
SteelHead In-Path	10.0.1.150	/24	10.0.1.1

SteelHead Primary	10.0.1.250	/24	10.0.1.1
FortiGate LAN	10.0.1.1	/24	-
FortiGate WAN	192.168.1.10	/24	192.168.1.1
Router ISP	192.168.1.1	/24	-

Finalmente, la topología propuesta teniendo en cuenta los componentes necesarios y direccionamientos IP mencionados en las tablas 5-2 y 5-3 se detalla en la figura 5-2.

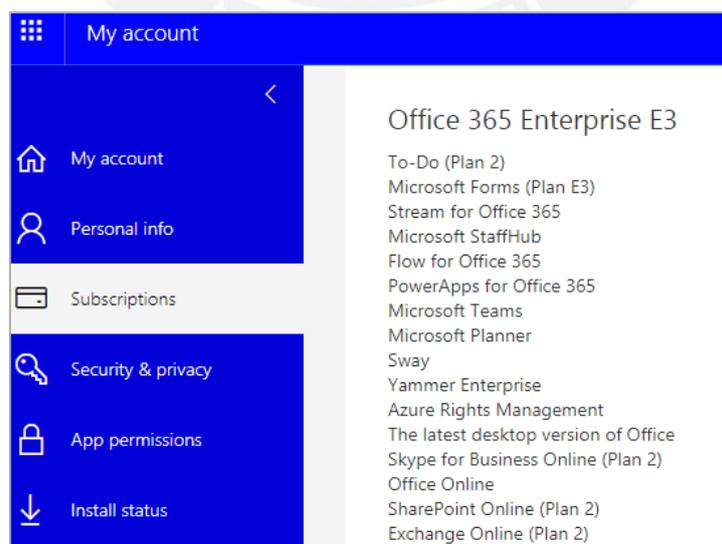


**Figura 5- 2: Topología propuesta para emulación de red.**

Elaboración propia.

### 5.1.2 Configuración del acceso a Office 365

El acceso a Office 365 se dio por una cuenta activa previamente obtenida con licenciamiento del tipo Office 365 Enterprise E3. En la figura 5-3 se puede comprobar su estado y las principales aplicaciones de la plataforma de productividad en mención que el licenciamiento ofrece.



**Figura 5- 3: Estado de cuenta de Office 365 Enterprise E3 y aplicaciones.**

Elaboración propia.

### 5.1.3 Configuración del firewall

Para la configuración de este equipo FortiGate 60E se usó la interfaz gráfica para su direccionamiento IP y enrutamiento para salida a Internet de acuerdo con la topología propuesta, como se describe en las figuras 5-4 y 5-5, respectivamente.

Status	Name	IP/Netmask	Type	Access
Physical (10)				
↑	port1 (WAN-Internet)	192.168.1.10 255.255.255.0	Physical Interface	PING HTTPS SSH HTTP FMG-Access
↑	port2 (LAN-Acelerador)	10.0.1.1 255.255.255.0	Physical Interface	PING HTTPS SSH HTTP

**Figura 5- 4: Configuración de direccionamiento IP del firewall.**

Elaboración propia.

Destination	Gateway	Interface	Comment
0.0.0.0/0	192.168.1.1	port1	Salida a Internet

**Figura 5- 5: Configuración de enrutamiento estático del firewall.**

Elaboración propia.

Asimismo, se configuró una política básica de salida a Internet. Para ello se tuvo que tener en cuenta que Riverbed indica en [84] que se requiere que los puertos TCP 7800 y 7810 estén abiertos de manera que el tráfico de señalización correspondiente al establecimiento del túnel de aceleración no sea denegado. Para efectos de esta implementación, se optó por dejar todos los puertos abiertos, como se observa en la figura 5-6.

Name	Source	Destination	Service	Action	NAT
LAN-Acelerador (port2) - WAN-Internet (port1) (1)					
Salida a Internet	10.0.1.0/24	all	ALL	ACCEPT	Enabled

**Figura 5- 6: Configuración de política de salida a Internet.**

Elaboración propia.

Finalmente, se realizó la prueba de conectividad a Internet del firewall desde su interfaz LAN como se detalla en la figura 5-7.

```
CLI Console
NGFW-Tesis # execute ping-options source 10.0.1.1
NGFW-Tesis # execute ping 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8): 56 data bytes
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=0 ttl=51 time=142.4 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=51 time=144.2 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=51 time=145.6 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=51 time=141.9 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=51 time=148.2 ms

--- 8.8.8.8 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 141.9/144.4/148.2 ms
```

**Figura 5- 7: Conectividad del firewall a Internet.**

Elaboración propia.

Con respecto de la política de traffic shaping, necesaria para las pruebas de saturación de ancho de banda, será configurada en la sección 5.2 “Pruebas de desempeño”.

#### 5.1.4 Configuración del acelerador WAN local

Para la configuración de este equipo virtual SteelHead VCX-555-H se asignó las direcciones IP a las dos principales interfaces: in-path (conformada por el bridge LAN-WAN del acelerador) y primary según se muestra en las figuras 5-8 y 5-9, respectivamente.

```
Acelerador-WAN # show interface inpath0 0 brief
Interface inpath0 0 state
Up: yes
Interface type: ethernet
IP address: 10.0.1.150
Netmask: 255.255.255.0
IPv6 link-local address: fe80::20c:29ff:fee2:7988/64
MTU: 1500
HW address: 00:0C:29:E2:79:88
Traffic status: Normal
HW blockable: no
Counters cleared date: 2018/06/20 14:18:36
```

**Figura 5- 8: Direccionamiento IP en la interfaz In-path (LAN-WAN).**

Elaboración propia.

```

Acelerador-WAN # show interface primary brief
Interface primary state
Up: yes
Interface type: ethernet
IP address: 10.0.1.250
Netmask: 255.255.255.0
IPv6 link-local address: fe80::250:56ff:fe21:fe5c/64
MTU: 1500
HW address: 00:50:56:21:FE:5C
Link: yes
Counters cleared date: 2018/06/20 14:18:36

```

Figura 5- 9: Direccinamiento IP de la interfaz primary.

Elaboracin propia.

Por otra parte, en las figuras 5-10 y 5-11 se muestra las pruebas de conectividad que se hicieron para validar la necesaria salida a Internet de ambas interfaces in-path y primary, respectivamente.

```

Acelerador-WAN # ping -I 10.0.1.150 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) from 10.0.1.150 : 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=51 time=159 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=51 time=137 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=51 time=142 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=51 time=480 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=5 ttl=51 time=150 ms
^C
--- 8.8.8.8 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4671ms
rtt min/avg/max/mdev = 137.157/213.879/480.017/133.207 ms

```

Figura 5- 10: Conectividad a Internet de la interfaz in-path.

Elaboracin propia.

```

Acelerador-WAN # ping -I 10.0.1.250 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) from 10.0.1.250 : 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=51 time=159 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=51 time=146 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=51 time=728 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=51 time=142 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=5 ttl=51 time=148 ms
^C
--- 8.8.8.8 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4633ms
rtt min/avg/max/mdev = 140.547/263.600/728.584/232.586 ms

```

Figura 5- 11: Conectividad a Internet de la interfaz primary.

Elaboracin propia.

Se configuró también en el SteelHead las políticas de optimización necesarias para la nube. Por defecto, se realiza un puenteo del tráfico SSL y no se optimiza, por lo que fue necesario retirar el puerto 443 de la lista de puertos SSL de manera que el tráfico HTTPS cayese en la política por defecto del final de la lista, la cual optimiza todo tipo de tráfico restante. Esta configuración puede apreciarse en la figura 5-12.

Rule	Type	Source	Destination	VLAN	Protocol	Preoptimization Policy	Latency Policy	Data Reduction Policy	Cloud Acceleration	Kickoff	Rule Status
▶ 1	Pass Through	All-IP:*	All-IP:Secure	All	TCP	--	--	--	Auto	--	Enabled
▶ 2	Pass Through	All-IP:*	All-IP:Interactive	All	TCP	--	--	--	Auto	--	Enabled
▶ 3	Pass Through	All-IP:*	All-IP:RBT-Proto	All	TCP	--	--	--	Auto	--	Enabled
default	Auto Discover	All-IP:*	All-IP:*	All	--	None	Normal	Normal	Auto	No	Enabled

**Figura 5- 12: Políticas de optimización hacia la nube.**

Elaboración propia.

De igual manera, en la figura 5-13 se muestra la configuración correspondiente a optimización de tráfico HTTP correspondiente a pre carga de objetos como .css, .gif, .jpg, .png, aprendizaje URL, optimización de autenticación, entre otros.

**Figura 5- 13: Configuración de optimización HTTP.**

Elaboración propia.

En lo que respecta a SSL se activó su optimización y se obtuvo el certificado digital para emparejamiento del SteelHead con su par en la nube, según se muestra en la figura 5-14.

Certificate Details	
<b>Issued To</b>	
Common Name:	Acelerador-WAN
Organization:	Riverbed Technology, Inc.
Locality:	San Francisco
State:	California
Country:	--
Serial Number:	ad:bf:ca:5e:4b:6b:79:f1
<b>Issued By</b>	
Common Name:	Acelerador-WAN
Organization:	Riverbed Technology, Inc.
Locality:	San Francisco
State:	California

**Figura 5- 14: Certificado digital para emparejamiento con acelerador en nube.**  
Elaboración propia.

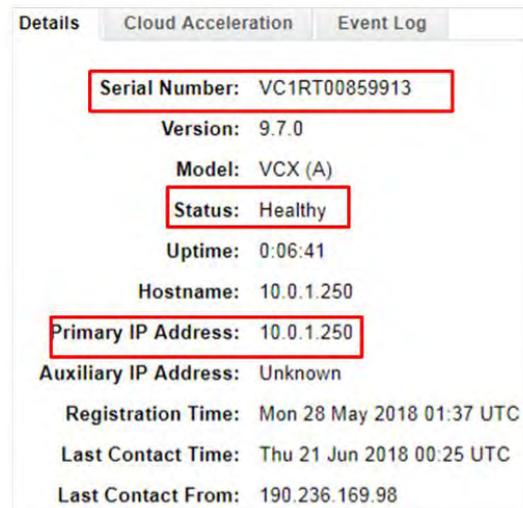
### 5.1.5 Configuración del acelerador WAN (cloud-hosted)

Como se mencionó en la sección 4.2.4.1 del capítulo anterior, para poder gestionar el acelerador en nube ACSH se hace uso del portal en nube de Riverbed. Desde allí entonces se realizó el registro del acelerador SteelHead VCX-555 local y se produjo el intercambio de certificados digitales de manera exitosa. Esto se muestra en las figuras 5-15 y 5-16, las cuales muestran la recepción y aceptación del certificado digital del SteelHead en nube por parte del local y viceversa, respectivamente.

Trusted Entity	
▼ Cloud_Accelerator_Peering_CA_0EE638638A391B0F6BEB20E03CB88619D3EC04E0	
<b>Trusted Certificate:</b>	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;"> <span>Details</span> <span>PEM</span> </div>	
<b>Certificate Details</b>	
<b>Issued To</b>	
Common Name:	ACSH CA 656794
Organization:	Akamai Technologies
Organization Unit:	Enterprise Cloud
Locality:	Cambridge
State:	MA
Country:	US
Serial Number:	a9:2d:64:f8:24:aa:4b:8c
<b>Issued By</b>	
Common Name:	ACSH CA 656794
Organization:	Akamai Technologies
Organization Unit:	Enterprise Cloud
Locality:	Cambridge
State:	MA
Country:	US

**Figura 5- 15: Certificado digital del acelerador en nube aceptado en el SteelHead local.**  
Elaboración propia.

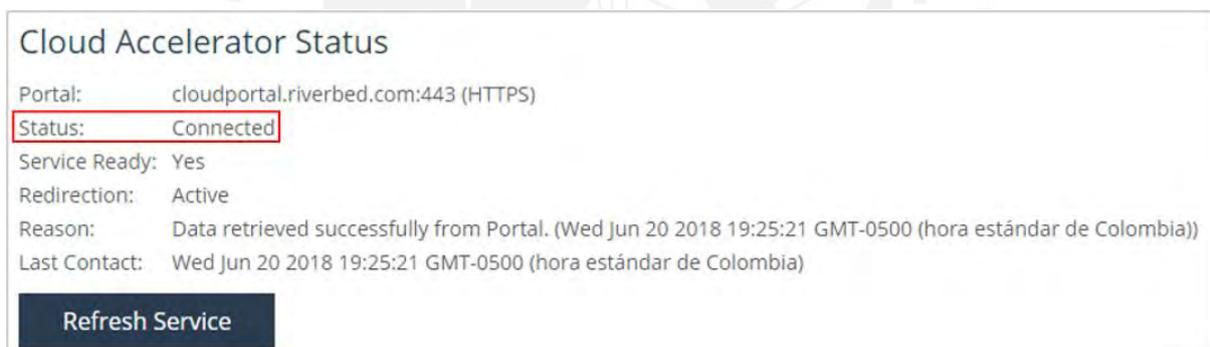
Como se puede observar también en la figura 5-16, el estado de la conexión con el SteelHead local estuvo activo.



**Figura 5- 16: Conexión activa con el acelerador on-premise.**

Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 5-17 se observa la validación de conexión activa del propio SteelHead local con el portal en nube de Riverbed.



**Figura 5- 17: Conexión activa del SteelHead local con el portal en nube de Riverbed.**

Elaboración propia.

Finalmente, se realizó la activación de los servicios de aceleración en nube que ofrece el portal de Riverbed. En este caso, se activó todos aquellos relacionados a Office 365 como se puede observar en la figura 5-18.

SaaS Services Summary			
Service Group	Application Name (ID)	Provider	Acceleration Service
All-SaaS	Box (BOX)	Box Inc	OFF
All-SaaS	Microsoft Dynamics CRM (DCRM)	Microsoft Inc.	OFF
All-SaaS	Office 365 (O365)	Microsoft Inc.	ON
All-SaaS	Office 365 Web Apps (O365OWA)	Microsoft Inc.	ON
All-SaaS	Office 365 User Identity (SAASUID)	SaaS Identification	ON
All-SaaS	Salesforce.com (SFDC)	Salesforce.com Inc.	OFF
All-SaaS	SuccessFactors (SFSF)	SAP	OFF
All-SaaS	ServiceNow (SVCNOW)	ServiceNow	OFF
All-SaaS	Veeva (VEEVA)	Veeva Systems	OFF

**Figura 5- 18: Servicios de Office 365 activos para aceleración.**

Elaboración propia.

### 5.1.6 Configuración de la estación de trabajo

Este se implementó como una máquina virtual con sistema operativo Windows 7 y su configuración IP se observa en la figura 5-19. Asimismo, se validó su conectividad a Internet según se muestra en la figura 5-20.

```

Adaptador de Ethernet Conexión de área local:

Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80::65ec:c979:1a39:3dbd%11
Dirección IPv4. . . . . : 10.0.1.180
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 10.0.1.1

```

**Figura 5- 19: Direccionamiento IP de la estación de trabajo.**

Elaboración propia.

```

C:\Users\renato.perez>ping 8.8.8.8

Haciendo ping a 8.8.8.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=142ms TTL=51
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=153ms TTL=51
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=146ms TTL=51
Respuesta desde 8.8.8.8: bytes=32 tiempo=147ms TTL=51

Estadísticas de ping para 8.8.8.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 142ms, Máximo = 153ms, Media = 147ms

```

**Figura 5- 20: Conectividad a Internet de la estación de trabajo.**

Elaboración propia.

## 5.2 Pruebas de desempeño

En función a los objetivos descritos en el Capítulo 1, los factores que se buscaron medir al final de la implementación de la solución se indican de acuerdo con la tabla 5-4 y contemplaron principalmente la descarga de tres tipos de archivo distintos, para los cuales se midió el tiempo que duró su descarga y el grado de utilización de ancho de banda que esto significó.

**Tabla 5- 4: Factores de medición y pruebas.**

Elaboración propia.

N° de prueba	Tipo de archivo	Factor de medición 1			Factor de medición 2		
		Descripción	Unidad	Metodología	Descripción	Unidad	Metodología
1	Presentación de Power Point (.pptx)	Tiempo de descarga de archivo.	Segundos (s)	Uso de cronómetro.	Grado de reducción de utilización de ancho de banda total durante descarga de archivo.	MegaBytes (MB)	Uso de herramienta de medición interna del SteelHead.
2	Archivo de audio (.mp3)						
3	Archivo de video (.MOV)						

La razón para la elección de tres tipos de archivos distintos fue para poder comprobar el funcionamiento de la solución de aceleración, la cual está basada en técnicas que funcionan independientemente del tipo de archivo que se utilice, como se indicó en la sección 4.2.2.1 “Optimización de datos”. Por otro lado, el tipo de archivos escogidos se realizó de manera aleatoria y teniendo en cuenta experiencia previa en cuanto a uso común de este tipo de archivos en las empresas. Asimismo, todas las pruebas de descargas realizadas se hicieron desde las aplicaciones principales de colaboración de Office 365: Sharepoint y OneDrive for Business, esto debido a su mayor enfoque en el almacenamiento y compartición de archivos.

Además, para cada una de las pruebas se realizó los dos factores de medición teniendo en cuenta tres escenarios distintos de saturación de ancho de banda en la salida a Internet: a 30, 5 y 2 Mbps utilizando la característica de limitación de tráfico del firewall en la WAN, cuya configuración se muestra en la figura 5-21.

Name	Type	Max Bandwidth	Priority
Shaper_2 Mbps	Shared	2048 Kbps	Medium
Shaper_5 Mbps	Shared	5120 Kbps	Medium
Shaper_30 Mbps	Shared	30720 Kbps	Medium

**Figura 5- 21: Configuración de limitación de tráfico en el firewall.**

Elaboración propia.

Estas tasas de bits aplicadas dieron resultados aproximados los cuales pudieron validarse utilizando la herramienta web de Speedtest de la compañía Ookla [85], según se muestra en la figura 5-22.



**Figura 5- 22: Resultados de pruebas de traffic shaping a 30, 5 y 2 Mbps aproximadamente.**

Elaboración propia basada en [85].

Para el factor de medición de tiempo de descarga de archivos (y para cada ancho de banda emulado) se realizó cinco intentos: uno previo a la implementación y los otros cuatro luego de la implementación. Esto se realizó siguiendo la metodología descrita en [82], en la cual se hace hincapié al análisis no solo del tiempo de descarga pre y post implementación, sino que además se considera importante ver los tiempos obtenidos en las transferencias que ocurren una vez que el SteelHead ya ha fragmentado, almacenado y referenciado la información en su memoria previamente. A estas nuevas transferencias se las denomina “calientes” [82].

Una vez que se tuvieron estas cinco mediciones, se determinó el factor de mejora de tiempo entre la primera descarga del archivo (sin acelerar) y la última realizada (la quinta), según la fórmula (5.1).

$$\text{Factor de mejora de tiempo} = \frac{\text{Tiempo de descarga sin aceleración}}{\text{Tiempo de la última descarga}} \dots (5.1)$$

Asimismo, para la obtención del grado de utilización de ancho de banda se analizó el total de tráfico medido en la WAN post implementación y se lo comparó con el tráfico que realmente debió haber habido ahí de no haberse realizado aceleración alguna. En ese sentido, la reducción de ancho de banda se obtuvo según la fórmula (5.2),

$$\text{Reducción (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Bytes medidos en la WAN}}{\text{Bytes no acelerados medidos en la WAN}}\right) * 100 \dots (5.2)$$

donde:

- *Bytes no acelerados medidos en la WAN = Tamaño del archivo \* 4 intentos*
- La información de bytes medidos en la WAN fue proporcionada por el propio acelerador.

### 5.2.1 Prueba 1: archivo .pptx

Para las pruebas correspondientes a la descarga de un archivo de presentación de Power Point Online (.pptx), se consideró un archivo de 24.6 MB de tamaño.

- **Ancho de banda de Internet: 30 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 24.3 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 21.70, 1.15, 1.00 y 0.95 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-23 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 23: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .pptx a 30 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. En la primera se observa que casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN, sin embargo, en la segunda ya se observa que el tráfico en promedio fue reducido casi a la mitad en la WAN. Finalmente, en la tercera y cuarta ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 53.10 MB.

- **Ancho de banda de Internet: 5 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 53.18 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 52.26, 49.43, 3.25 y 1.73 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-24 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 24: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .pptx a 5 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. En la primera se observa que casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN y durante la segunda se tuvo un cierto grado de reducción. Sin embargo, en la tercera y cuarta ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 53.30 MB.

- **Ancho de banda de Internet: 2 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 123.29 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 117.42, 4.4, 95.08 y 2.81 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-25 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 25: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .pptx a 2 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. En la primera se observa que casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN y durante la segunda se tuvo un grado de reducción de casi la mitad del tráfico. Sin embargo, en la tercera y cuarta ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 71.6 MB.

- **Resumen de las pruebas**

Finalmente, en tabla 5-5 se muestra el resumen de las pruebas realizadas. Asimismo, se obtuvo los resultados del factor de mejora en cuanto a tiempos y el porcentaje de reducción de ancho de banda por las cuatro descargas post implementación según las fórmulas (5.1) y (5.2), respectivamente.

**Tabla 5- 5: Resumen de pruebas para descarga de archivo .pptx**

Elaboración propia

Características		Factor de medición 1: tiempo de descarga de archivo					Factor de medición 2: Utilización total de ancho de banda			
Tasa de bits de descarga de Internet	Tamaño del archivo (MB)	Sin aceleración (intento 0) (s)	Post implementación				Factor de mejora	Bytes que debería haber en la WAN (MB)	Bytes que realmente hubo en la WAN (MB)	Reducción (%)
			Intento 1 (s)	Intento 2 (s)	Intento 3 (s)	Intento 4 (s)				
30 Mbps	24.60	24.30	21.70	1.15	1.00	0.95	25.58	98.40	53.10	46.04%
5 Mbps	24.60	53.18	52.26	49.43	3.25	1.73	30.74	98.40	53.30	45.83%
2 Mbps	24.60	123.29	117.42	4.40	95.08	2.81	43.88	98.40	71.60	27.24%

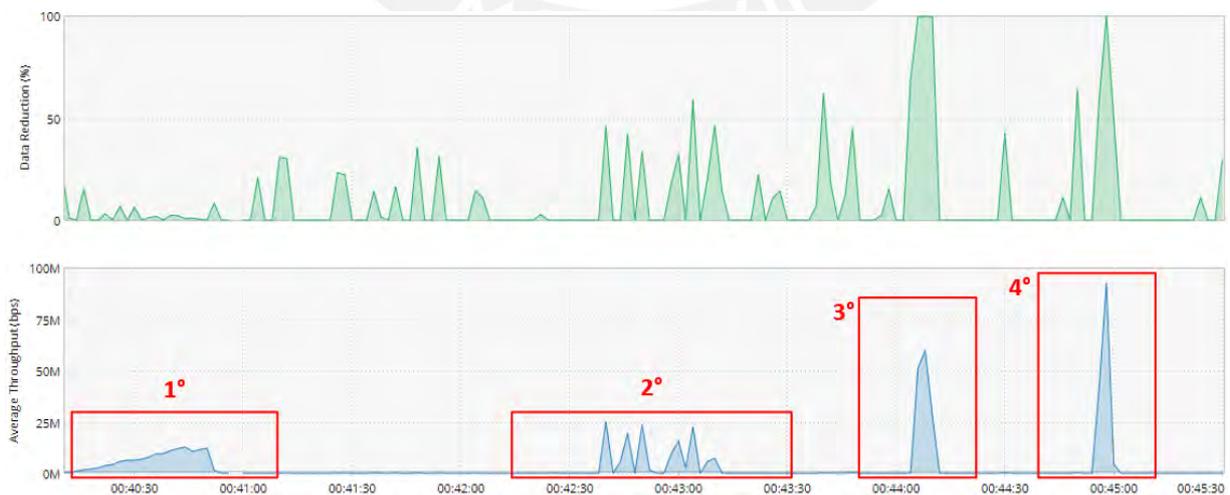
### 5.2.2 Prueba 2: archivo .mp3

Para las pruebas correspondientes a la descarga de un archivo de audio (.mp3), se consideró un archivo de 33 MB de tamaño.

- **Ancho de banda de Internet: 30 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 38.24 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 35.30, 26.81, 4.35 y 2.76 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-26 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 26: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .mp3 a 30 Mbps.**

Elaboración propia.

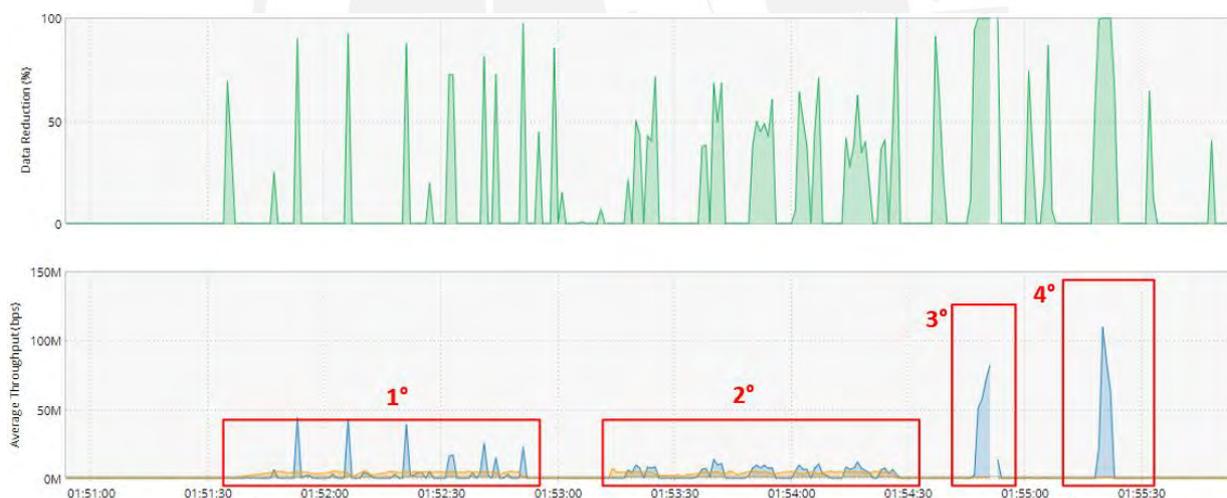
En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. En la primera se observa que casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN, sin embargo, en la segunda ya se observa que el tráfico en promedio fue reducido casi a la mitad en la WAN. Finalmente, en la tercera y cuarta ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 71.98 MB.

- **Ancho de banda de Internet: 5 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 64.01 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 63.88, 62.23, 4.05 y 2.69 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-27 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 27: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .mp3 a 5 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. Aquí ya se comenzó a hacer notorio que el ancho de banda estaba siendo reducido y, al ser un archivo más pesado, los tiempos de descarga al inicio fueron mayores en los dos primeros intentos. Asimismo, el grado de reducción de ancho de banda fue mínimo. Sin embargo, en la tercera y cuarta descarga se observa que ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 72.20 MB.

- **Ancho de banda de Internet: 2 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 149.39 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 144.65, 4.12, 2.49 y 2.45 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-28 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 28: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .mp3 a 2 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. Aquí los tiempos de descarga se hicieron más largos dado el ajuste en la tasa de bits por el firewall. En la primera se observa que casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN y durante la segunda se tuvo un grado de reducción de casi la mitad del tráfico. Sin embargo, en la tercera y cuarta ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 43 MB.

- **Resumen de las pruebas**

Finalmente, en tabla 5-6 se muestra el resumen de las pruebas realizadas. Asimismo, se obtuvo los resultados del factor de mejora en cuanto a tiempos y el porcentaje de reducción de ancho de banda por las cuatro descargas post implementación según las fórmulas (5.1) y (5.2), respectivamente.

**Tabla 5- 6: Resumen de pruebas para descarga de archivo .mp3**

Elaboración propia.

Características		Factor de medición 1: tiempo de descarga de archivo					Factor de medición 2: Utilización total de ancho de banda			
Tasa de bits de descarga de Internet	Tamaño del archivo (MB)	Sin aceleración (intento 0) (s)	Post implementación				Factor de mejora	Bytes que debería haber en la WAN (MB)	Bytes que realmente hubo en la WAN (MB)	Reducción (%)
			Intento 1 (s)	Intento 2 (s)	Intento 3 (s)	Intento 4 (s)				
30 Mbps	33	38.24	35.30	26.81	4.35	2.76	<b>13.86</b>	132	71.98	<b>45.47%</b>
5 Mbps	33	64.01	63.88	62.23	4.05	2.69	<b>23.80</b>	132	72.20	<b>45.30%</b>
2 Mbps	33	149.39	144.65	4.12	2.49	2.45	<b>60.98</b>	132	43.00	<b>67.42%</b>

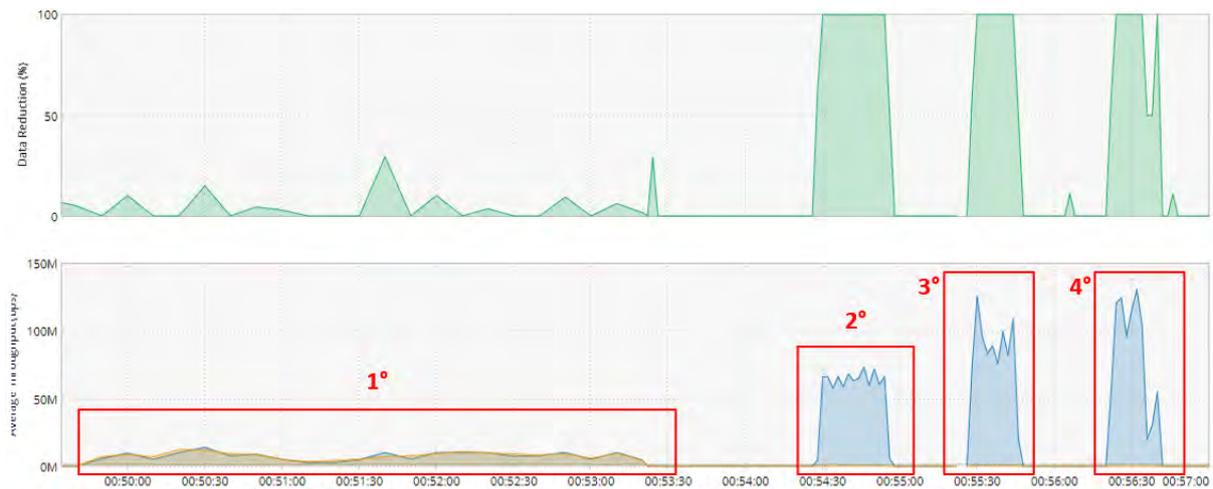
### 5.2.3 Prueba 3: archivo .MOV

Para las pruebas correspondientes a la descarga de un archivo de video (.MOV), se consideró un archivo de 203 MB de tamaño.

- **Ancho de banda de Internet: 30 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 216.14 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 215.61, 26.5, 17.27 y 17.37 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-29 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 29: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .MOV a 30 Mbps.**

Elaboración propia.

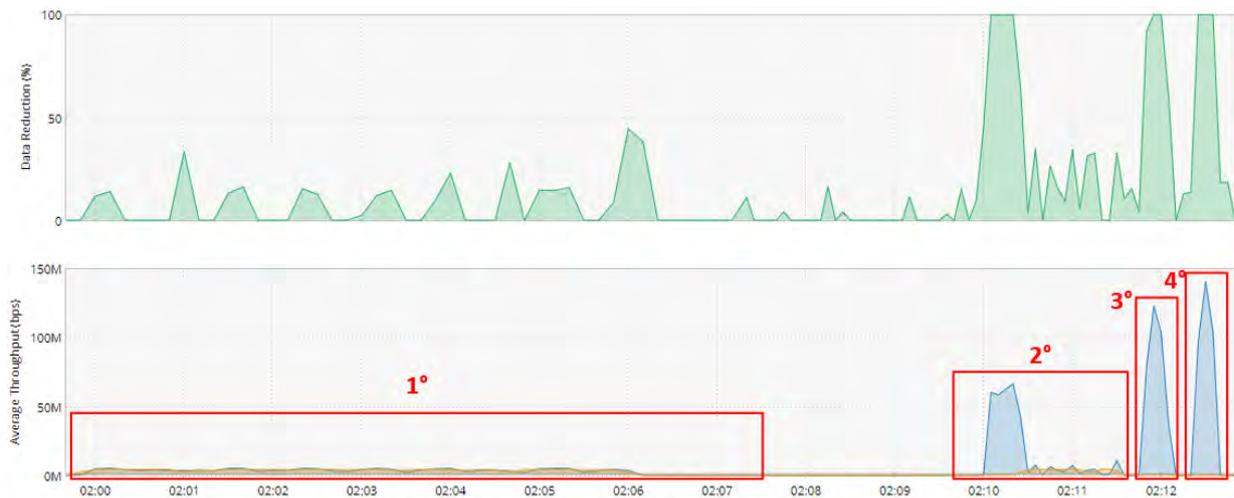
En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. En la primera se observa que casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN, así como el tiempo de descarga fue mucho mayor al tratarse de un archivo pesado. Sin embargo, en este caso desde la segunda descarga hasta la cuarta ya se observa que el tráfico en promedio de la WAN fue reducido casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 222.20 MB.

- **Ancho de banda de Internet: 5 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 461.23 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 449.98, 38.56, 16.98 y 14.03 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-30 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 30: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .MOV a 5 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. Aquí ya se comenzó a hacer notorio que el ancho de banda estaba siendo reducido y, al ser un archivo más pesado el tiempo de descarga fue mayor en el primer intento. Asimismo, el grado de reducción de ancho de banda fue mínimo. Sin embargo, a partir de la segunda se observa que ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

Como caso excepcional, durante la segunda descarga se tuvo un comportamiento esperado hasta la mitad de la transferencia, en donde luego el tráfico cursado en la LAN volvió a ser el mismo que el de la WAN.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 222.3 MB.

- **Ancho de banda de Internet: 2 Mbps**

La descarga de este archivo a esta tasa de bits se realizó previa implementación en un tiempo de 970.3 segundos. Los cuatro intentos posteriores una vez realizada la implementación fueron de 864.04, 25.85, 17.61 y 10.93 segundos, respectivamente.

En lo que respecta a la utilización de ancho de banda, en la figura 5-31 se observa dos gráficas correspondientes al grado de reducción de datos que se tuvo (gráfica verde) y a la tasa de bits promedio presente en la LAN (gráfico azul) y WAN (gráfico naranja) durante los cuatro intentos de descarga del archivo.



**Figura 5- 31: Reducción de ancho de banda en la descarga de un archivo .MOV a 2 Mbps.**

Elaboración propia.

En estas gráficas se puede visualizar claramente las cuatro descargas realizadas post implementación. Aquí el tiempo de descarga se hizo mucho más largo dada la nueva tasa de bits ajustada por el firewall y considerando el gran peso del archivo. Asimismo, se observa que en el primer intento casi no existió diferencia entre la tasa de bits entre la LAN y la WAN. Sin embargo, desde la segunda descarga hasta la cuarta ya prácticamente solo se tuvo tráfico en la LAN habiéndose reducido el de la WAN casi en su totalidad.

En estas cuatro descargas, el acelerador indicó que se cursó en la WAN un tráfico total de 190.6 MB.

- **Resumen de las pruebas**

Finalmente, en tabla 5-7 se muestra el resumen de las pruebas realizadas. Asimismo, se obtuvo los resultados del factor de mejora en cuanto a tiempos y el porcentaje de reducción de ancho de banda por las cuatro descargas post implementación según las fórmulas (5.1) y (5.2), respectivamente.

**Tabla 5- 7: Resumen de pruebas para descarga de archivo .MOV**

Elaboración propia.

Características		Factor de medición 1: tiempo de descarga de archivo					Factor de medición 2: Utilización total de ancho de banda			
Tasa de bits de descarga de Internet	Tamaño del archivo (MB)	Sin aceleración (intento 0) (s)	Post implementación				Factor de mejora	Bytes que debería haber en la WAN (MB)	Bytes que realmente hubo en la WAN (MB)	Reducción (%)
			Intento 1 (s)	Intento 2 (s)	Intento 3 (s)	Intento 4 (s)				
30 Mbps	203	216.14	215.61	26.5	17.27	17.37	12.44	812	222.2	72.64%
5 Mbps	203	461.23	449.98	38.56	16.98	14.03	32.87	812	222.3	72.62%
2 Mbps	203	970.3	864.04	25.85	17.61	10.93	88.77	812	190.6	76.53%

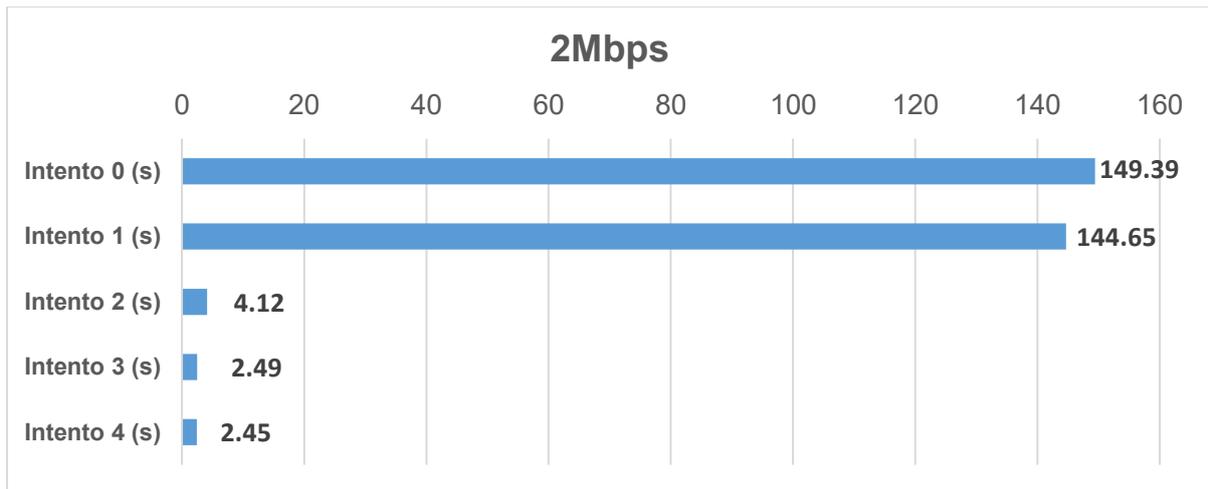
#### 5.2.4 Discusión de resultados

Para todas las pruebas con los tres archivos de distinto tipo se obtuvo un comportamiento similar al esperado, según lo que la solución propuso. Esto implicó que luego de implementada la solución se obtuviese una primera descarga en la cual el acelerador identificaba el tráfico por primera vez, proceso denominado por Riverbed como transferencia “fría” [82], por lo que en la mayoría de casos no se obtuvo una optimización significativa en el tiempo de descarga de los archivos debido a que solamente se utilizó técnicas de compresión y optimización TCP mientras el acelerador fragmentaba y referenciaba la data en su memoria. Ya en las transferencias siguientes los tiempos de descarga se redujeron significativamente, así como el grado de reducción de uso de la WAN.

Para efectos de simplicidad en el análisis, se tomó en cuenta el mejor y peor de los casos medidos en función a los resultados obtenidos en las tablas 5-5, 5-6 y 5-7.

- **Mejor caso: descarga de archivo .MOV a 2 Mbps**

Se indica que este fue el mejor de los casos ya que se obtuvo aquí los resultados más favorables y el beneficio de la aceleración pudo ser obtenido más rápidamente. En la figura 5-32 se observa los diversos tiempos de descarga que se obtuvo para este archivo a la tasa de bits descrita.



**Figura 5- 32: Tiempos de descarga de archivo .MOV a 2 Mbps en la WAN.**

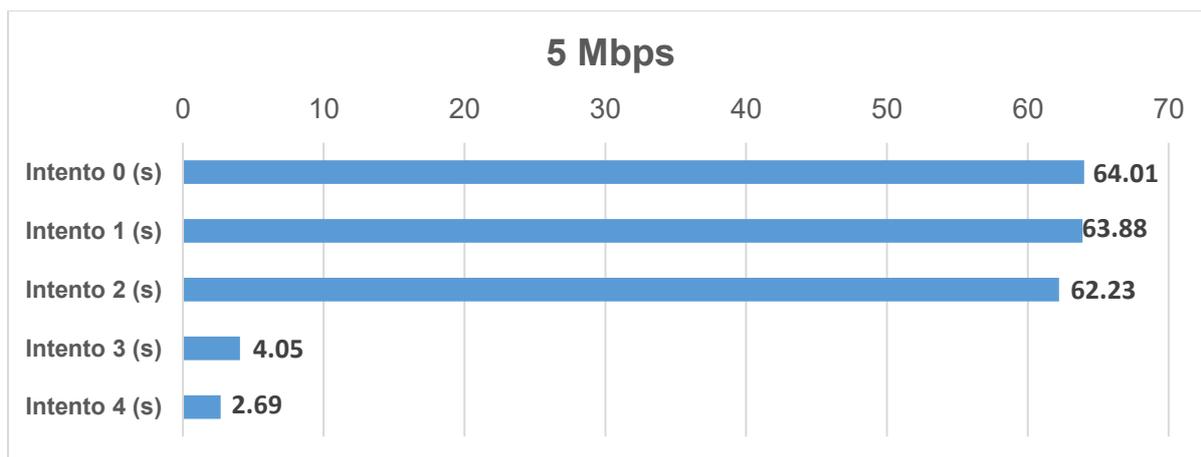
Elaboración propia.

Se verificó que entre la descarga pre y post implementación se tuvo una mejora de tan solo 4.74 segundos, pero que la reducción significativa en el tiempo se dio a partir de la segunda descarga en adelante. Esto arrojó como resultado finalmente una última descarga de 2.45 segundos de duración para un archivo de 203 MB, lo cual significó un factor de mejora de tiempo equivalente a una descarga 88.77 veces más rápida. Si bien no es exactamente igual, este valor se acerca al ofrecido por Riverbed en la hoja técnica de la solución SteelHead en la que se menciona una mejora de hasta 100 veces [72]. Este factor es más importante aun teniendo en cuenta que se trató de una prueba sometida a una baja tasa de bits de 2 Mbps.

Asimismo, para este caso se obtuvo un 76.53% de reducción de tráfico en la WAN, uno de los más altos de todas las pruebas realizadas. De igual manera, se trata de un valor que se acercó pero no llegó a alcanzar el 95% de utilización de ancho de banda en la WAN ofrecido por Riverbed en la hoja técnica de la solución SteelHead [72].

- **Peor caso: descarga de archivo .mp3 a 5 Mbps**

Se indica que este fue el peor de los casos ya que se obtuvo aquí los resultados más desfavorables y el beneficio de la aceleración no se obtuvo inmediatamente implementada la solución. En la figura 5-33 se observa los diversos tiempos de descarga que se obtuvo para este archivo a la tasa de bits descrita.



**Figura 5- 33: Tiempos de descarga de archivo .mp3 a 5 Mbps en la WAN.**

Elaboración propia.

Para este caso, se verificó que entre la descarga pre y post implementación se tuvo una mejora de tan solo 0.13 segundos; sin embargo, a partir de la segunda descarga tampoco se tuvo una mejora significativa. Esto puede haberse debido a que la conexión TCP no fue interceptada por el acelerador y, por lo tanto, no fue optimizada. En adelante, a partir del intento 3 sí se tuvo ya una mejora considerable la cual arrojó como resultado una descarga de 2.69 segundos 33 MB, lo cual significó un factor de mejora de tiempo equivalente a una descarga 23.8 veces más rápida. Este fue uno de los valores que más distó del factor de mejora de hasta 100 veces ofrecido por Riverbed en la hoja técnica de la solución SteelHead [72].

Asimismo, para este caso se obtuvo un 45.30% de reducción de tráfico en la WAN, no solo uno de los más bajos de las pruebas realizadas sino también distante del 95% de utilización de ancho de banda en la WAN ofrecido por Riverbed en la hoja técnica de la solución SteelHead [72].

De los resultados obtenidos se pudo corroborar que la solución de Riverbed funciona dentro del rango de valores esperados de acuerdo con su hoja de datos y que, incluso en el peor de los casos, se obtienen velocidades de descarga muy altas considerando el ancho de banda saturado al que la WAN pueda estar sometida. Por otra parte, se pudo observar que no siempre todas las conexiones son optimizadas en primera instancia por el acelerador, por lo cual no siempre se obtiene un resultado completamente inmediato de la solución de cara al usuario final.

### 5.3 Evaluación de impacto económico

Para la evaluación de impacto económico se planteará un escenario desde el punto de vista de un integrador de la solución propuesta de cara a la implementación de la misma en la red

de un cliente empresarial y así poder realizar un balance de costos versus ingresos en el tiempo. Por la similitud del tipo de solución empresarial, para este análisis se tomará como referencia la metodología descrita en [86].

### **5.3.1 Escenario**

El escenario que se tomará para la elaboración del impacto económico de la presente tesis consta de los siguientes partícipes:

- Cliente: empresa de cualquier rubro que cuente con al menos 200 usuarios distribuidos en una o más sedes cuya salida a Internet de hasta 100 Mbps esté dada a través de una sede principal para el acceso a la plataforma de productividad en la nube de Office 365 empresarial. Se eligió este número de usuarios debido a que la cantidad mínima de licenciamiento para SteelHead SaaS es de dicha cantidad [87]. Además, el servicio de aceleración es solicitado por un periodo de 5 años.
- Integrador: proveedor de servicios de telecomunicaciones que es contratado por el cliente para la implementación llave en mano de la solución de aceleración WAN hacia Office 365.

### **5.3.2 Recursos técnicos**

#### **5.3.2.1 Acelerador WAN**

El principal componente de la solución en este proyecto es el equipo acelerador WAN. Para efectos de esta propuesta, y dado que sería implementado en producción, este equipo será uno físico y no máquina virtual. Teniendo en cuenta un uso promedio de 10 conexiones TCP por cada usuario en el acceso a Office 365, valor recomendado por Riverbed en [75], se tiene un dimensionamiento (considerando escalabilidad del 20%) del modelo acelerador WAN SteelHead CX 780 con licenciamiento Standard, el cual es capaz de realizar optimizar hasta 5500 conexiones TCP según su hoja técnica de datos [88].

#### **5.3.2.2 Suscripción a aceleración SaaS**

Licenciamiento requerido para despliegue automático de acelerador WAN en la plataforma inteligente de Akamai lo más cerca posible del centro de datos de Microsoft. Como se indicó previamente en la sección 5.3.1, esta es una suscripción anual se ofrece para un mínimo de 200 usuarios.

### 5.3.2.3 Topología de red

La topología de red para este proyecto será análoga a aquella mostrada en la figura 5-1 de la sección 5.1.1.

### 5.3.3 Plan de trabajo

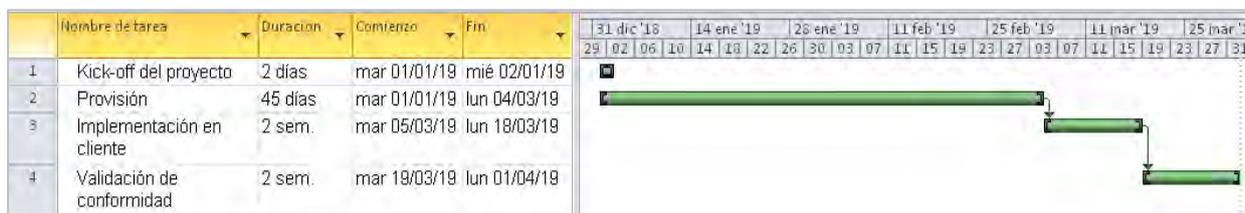
A continuación, se describen los principales puntos a tomar en cuenta para la ejecución del proyecto de implementación de aceleración WAN de Office 365.

#### 5.3.3.1 Etapas del proyecto

- Kick-off del proyecto: en esta etapa realizará la transferencia de información a nivel interno del integrador acerca del dimensionamiento de la solución, topología de red, enlaces a Internet, cantidad de usuarios, ubicación de la sede principal, entre otros; al personal encargado de realizar la implementación.
- Provisión: gestión de la adquisición del equipo acelerador con un tiempo de importación máximo de 45 días, según información de mayorista [89].
- Implementación en cliente: instalación física del acelerador, configuración IP y de políticas de aceleración, registro de equipo en el portal en nube, configuración de certificados SSL, entre otros; a cargo del personal designado para este fin.
- Validación de conformidad: ejecución de pruebas necesarias para validar conectividad IP y aceleración de tráfico a Office 365, monitoreo constante de por lo menos 2 semanas, elaboración de reporte de instalación.

#### 5.3.3.2 Desarrollo del proyecto

Las etapas descritas previamente se realizarán de acuerdo con el diagrama de Gantt mostrado en la figura 5-34. Estos tiempos fueron obtenidos en base a una comunicación oral con el jefe de proyectos de una empresa integradora local [90].



**Figura 5- 34: Tiempos estimados del proyecto.**

Elaboración propia basada en [90].

### 5.3.4 Aspecto económico

A continuación, se detallan los costos asociados a la parte de equipamiento físico con licenciamiento y a servicios.

#### 5.3.4.1 Costo por equipamiento

En la tabla 5-8 se detalla los costos relacionados al equipamiento de la solución de aceleración WAN. Se contempla también el costo por licenciamiento perpetuo para la capacidad de aceleración del equipo y licenciamiento anual para la aceleración hacia la nube. Estos precios fueron obtenidos de la lista oficial de precios de Riverbed más actualizada [91] y considerando un descuento de 40% del precio de lista para el integrador [92] y 6% de costo de importación por parte del mayorista [93].

**Tabla 5- 8: Costos por equipamiento y licencias por 1 año.**

Elaboración propia.

Código	Descripción	Fabricante	Precio de lista unitario	Cantidad	Dcto.	Importación	Costo unitario	Costo total (12 meses)
CXA-00780-B110	Acceptor WAN: Steelhead RIOS CXA 00780 B110	Riverbed	\$1,995.00	1	40%	6%	\$1,268.82	<b>\$1,268.82</b>
LIC-CXA-00780-T2	Licencia: License Steelhead CXA 780 Standard ( <b>perpetua</b> )	Riverbed	\$11,000.00	1	40%	0%	\$6,600.00	<b>\$6,600.00</b>
SUB-CXA-00780-T2	Garantía: Subscription based Steelhead Standard, includes Gold support ( <b>mensual</b> )	Riverbed	\$433.00	1	40%	0%	\$259.80	<b>\$3,117.60</b>
SHSAASACC-SUB-APPUNITS	Licencia mensual para 200 usuarios: SaaS Accelerator: optimization of SaaS Applications as a Service by Riverbed (Office 365, Box, SFDC, Veeva, ServiceNow ( <b>mensual</b> ))	Riverbed	\$4.50	200	40%	0%	\$2.70	<b>\$6,480.00</b>
<b>TOTAL</b>								<b>\$17,466.42</b>

#### 5.3.4.2 Costo por servicios

En la tabla 5-9 se detalla los costos relacionados a los servicios y recursos humanos. Para este proyecto se está considerando que el personal encargado de la implementación será un ingeniero certificado por el fabricante, cuyo costo por jornada laboral de 8 horas es de \$120.00, y un Project Manager cuyo costo gestión en jornada laboral es de \$30.00, acorde a información corporativa obtenida en [90].

Adicionalmente, se está considerando un costo por soporte y mantenimiento anual equivalente al 10% del costo total del equipamiento anual [90]. Este es finalmente el de

\$1,764.64. La forma de trabajo finalmente será: el kick-off a cargo del Project Manager en conjunto con el ingeniero asignado a la implementación, luego se considerará solo 3 días de los 45 que dura la importación de los equipos para gestión de compras y logística a cargo del Project Manager, 2 semanas para implementación en cliente y 2 semanas más para monitoreo, pruebas y validación de conformidad teniendo en cuenta que cada semana se trabaja de lunes a viernes en una jornada de 8 horas.

**Tabla 5- 9: Costos por servicios y soporte.**

Elaboración propia.

<b>Etapa</b>	<b>Duración</b>	<b>Personal involucrado</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por día</b>	<b>Total</b>
Kick-off del proyecto	2 días	Ingeniero certificado	1	\$120.00	<b>\$300.00</b>
		Project Manager	1	\$30.00	
Provisión	45 días máximo plazo de entrega. Se considerará gestión logística 3 días de trabajo.	Project Manager	1	\$30.00	<b>\$90.00</b>
Implementación en cliente	2 semanas (10 días laborables)	Ingeniero certificado	1	\$120.00	<b>\$1,500.00</b>
		Project Manager	1	\$30.00	
Validación de conformidad	2 semanas (10 días laborables)	Ingeniero certificado	1	\$120.00	<b>\$1,500.00</b>
		Project Manager	1	\$30.00	
Soporte de la solución propuesta (anual)	12 meses	Ingeniero de soporte certificado	1	NA	<b>\$1,746.64</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$5,136.64</b>

### 5.3.5 Análisis de rentabilidad

En base a la información proporcionada en las tablas 5-8 y 5-9, se analizó la rentabilidad del proyecto a 5 años de implementada la solución. En ese sentido, se tiene que en el “año 0” al inicio del proyecto se tiene únicamente gastos relacionados a compra de equipamiento para la solución de aceleración con su licenciamiento perpetuo y costos relacionados a los servicios de instalación, configuración y gestión de proyecto. Ya en el año 1, se tiene los costos relacionados al licenciamiento anual para aceleración en la nube y la venta del equipamiento y venta de servicios de instalación y configuración considerando un margen del 20% del costo en ambos casos [90]. Asimismo, se ofrece ya la venta del servicio de soporte anual de igual manera al 20% del costo. En adelante, anualmente se tendrá únicamente costos por licenciamiento anual e ingresos por la venta de ese licenciamiento con su

respectivo margen y adicionalmente la venta del servicio de soporte anual. Todo este flujo se detalla en la tabla 5-10.

**Tabla 5- 10: Flujo de caja del proyecto.**

Elaboración propia.

Concepto por año	0	1	2	3	4	5
<b>EGRESOS</b>						
Solución de acelerador WAN local + licenciamiento perpetuo	-\$7,868.82					
Garantía de fábrica para equipamiento físico		-\$3,117.60	-\$3,117.60	-\$3,117.60	-\$3,117.60	-\$3,117.60
Licenciamiento anual para aceleración de Office 365 para 200 usuarios		-\$6,480.00	-\$6,480.00	-\$6,480.00	-\$6,480.00	-\$6,480.00
Kick-off del proyecto	-\$300.00					
Provisión	-\$90.00					
Implementación en cliente	-\$1,500.00					
Validación de conformidad	-\$1,500.00					
Soporte de la solución propuesta (anual)		-\$1,746.64	-\$1,746.64	-\$1,746.64	-\$1,746.64	-\$1,746.64
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>-\$11,258.82</b>	<b>-\$11,344.24</b>	<b>-\$11,344.24</b>	<b>-\$11,344.24</b>	<b>-\$11,344.24</b>	<b>-\$11,344.24</b>
<b>EGRESOS ACUMULADOS</b>	<b>-\$11,258.82</b>	<b>-\$22,603.06</b>	<b>-\$33,947.30</b>	<b>-\$45,291.55</b>	<b>-\$56,635.79</b>	<b>-\$67,980.03</b>
<b>INGRESOS</b>						
Venta de solución de acelerador WAN local + licenciamiento perpetuo (margen 20%)		\$9,836.03				
Venta de garantía de fábrica anual para equipamiento físico (margen 20%)		\$3,897.00	\$3,897.00	\$3,897.00	\$3,897.00	\$3,897.00
Venta de licenciamiento anual para aceleración de Office 365 para 500 usuarios (margen 20%)		\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00
Servicio de instalación y configuración llave en mano		\$4,237.50				
Servicio de soporte anual		\$2,183.30	\$2,183.30	\$2,183.30	\$2,183.30	\$2,183.30
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$28,253.83</b>	<b>\$14,180.30</b>	<b>\$14,180.30</b>	<b>\$14,180.30</b>	<b>\$14,180.30</b>
<b>INGRESOS ACUMULADOS</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$28,253.83</b>	<b>\$42,434.13</b>	<b>\$56,614.43</b>	<b>\$70,794.74</b>	<b>\$84,975.04</b>
<b>FLUJO</b>						
<b>FLUJO NETO</b>	<b>-\$11,258.82</b>	<b>\$16,909.59</b>	<b>\$2,836.06</b>	<b>\$2,836.06</b>	<b>\$2,836.06</b>	<b>\$2,836.06</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-\$11,258.82</b>	<b>\$5,650.77</b>	<b>\$8,486.83</b>	<b>\$11,322.89</b>	<b>\$14,158.95</b>	<b>\$16,995.01</b>

<b>TCO</b>	12%
------------	-----

<b>VAN</b>	\$10,294.81
<b>TIR</b>	79%

Para este flujo se ha considerado una tasa de mercado del 12% [90] y se puede observar de acuerdo al flujo acumulado del proyecto que este se hace rentable desde el primer año de su implementación. Esto se comprueba además obteniendo el valor de la Tasa Interna de Retorno que, como puede apreciarse en la tabla 5-10, es un valor mayor al TCO.

## CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio detallado de las diversas alternativas de solución del acceso optimizado a Office 365 en el capítulo 3, así como de los fabricantes líderes del mercado de aceleración WAN en el capítulo 4. Se determinó que las soluciones de Riverbed y Silver Peak fueron las que cumplieron en mayor grado los criterios propuestos de ofrecer una solución completa que involucre acuerdo con el fabricante de la plataforma SaaS y cuya aceleración hacia la nube sea en la medida de lo posible de extremo a extremo.
- Se estudió en el capítulo 4 la solución de aceleración WAN hacia Office 365 dada por Riverbed SteelHead SaaS, repasando su forma de despliegue en una topología empresarial, técnicas de aceleración involucradas, configuraciones de políticas necesarias, entre otras. La elección de esta solución para su estudio fue debido a que, por su forma de despliegue, implicaba la mayor reducción de latencia.
- Se implementó en el capítulo 5 la solución virtual SteelHead SaaS, la cual fue sometida a pruebas desde las aplicaciones de OneDrive for Business y Sharepoint considerando la descarga de tres archivos de distinto tipo y de distinto tamaño. Para cada uno, además, estas pruebas se dieron a distintas tasas de bits en la WAN: 30, 5 y 2 Mbps con la finalidad de medir la mejora en sus tiempos de descarga y el grado de reducción de utilización de ancho de banda en la WAN.
- En cuanto a la medición de los tiempos de descarga de archivos, se obtuvo un factor de mejora de tiempo de hasta 88.77 veces más rápida, lo cual es medianamente distante del resultado esperado según hoja técnica (factor de mejora: 100). Asimismo, no todas las conexiones fueron optimizadas en primera instancia y hubo casos en los que la diferencia en los tiempos entre intentos fue mínima, lo cual puede estar ligado a temas de eficiencia del propio equipo.
- En cuanto a la reducción de utilización de ancho de banda en la WAN, se obtuvo resultados de hasta 76.53% de reducción, valor que de igual manera dista medianamente del 95% ofrecido por el fabricante en la hoja técnica.
- Se realizó el análisis de rentabilidad de la implementación de la solución propuesta en un ámbito empresarial, desde el punto de vista de un integrador local, en el capítulo 5. Se validó que el proyecto resulta rentable desde el primer año de implementada la solución. Al final de los 5 años de servicio, se obtiene un Valor Actual Neto de \$10,294.81 y una Tasa Interna de Retorno del 79%.

## RECOMENDACIONES

- Es posible aumentar el performance de acceso a la plataforma de productividad de Office 365 mediante la ejecución conjunta de algunas de las otras alternativas de solución descritas en el Capítulo 3 como la adecuada gestión de la red interna de la empresa, la aplicación de las recomendaciones de Microsoft en cuanto a direccionamiento IP y asignación de ancho de banda, entre otras. En ese sentido, el uso de aceleradores WAN no tiene por qué ser excluyente de las otras alternativas.



## TRABAJOS FUTUROS

- De acuerdo con los resultados del análisis comparativo visto en el Capítulo 4, implementar la solución dada por otros fabricantes relevantes y líderes del mercado de aceleración WAN que también obtuvieron una calificación alta como el caso de Silver Peak y realizar la comparativa con los resultados obtenidos con Riverbed.
- De ser factible técnicamente, se podría extender el presente estudio a la segunda plataforma de productividad y colaboración más importante del mercado: G-Suite de Google.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Flexera Software, “Rightscale state of the cloud report”, 2019.
- [2] Gartner Inc., “Press Releases: Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud Revenue to Grow 17% in 2020”, Stamford, 2019.
- [3] Okta Inc., “Businesses at Work”, San Francisco, 2016.
- [4] BitGlass, “For Adoption: BitGlass Cloud Adoption 2019”, 2019.
- [5] Gartner Inc., “Survey Analysis: Microsoft Dominates Cloud Email in Large Public Companies but Shares the Rest With Google”, 2016.
- [6] M. Spencer, S. Nadella, y A. Hood, “Microsoft FY 2019 Third Quarter Earnings Conference Call”, 2019.
- [7] A. Li, “Google ended 2018 with 5 million customers paying for G Suite”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://9to5google.com/2019/02/04/g-suite-5-million-businesses/>. [Consultado: 10-ene-2020].
- [8] G. Sevounts, “3 Reasons to blame your network for slow Office 365”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.aryaka.com/blog/3-reasons-to-blame-your-network-for-slow-office-365/>. [Consultado: 20-mar-2020].
- [9] N. Rickard y A. Lerner, “Network Design Best Practices for Office 365”, 2018.
- [10] A. S. Tanenbaum, “Hardware de redes”, en *Redes de Computadoras*, 4a ed., México: Pearson Educación de México, 2003, pp. 19–21.
- [11] M. Rouse y Tech Target, “WAN (Wide Area Network)”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://searchenterprisewan.techtarget.com/definition/WAN>. [Consultado: 20-mar-2020].
- [12] SDX Central, “What is Hybrid WAN and Why Does it Matter?”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.sdxcentral.com/networking/sd-wan/definitions/hybrid-wan-matter/>. [Consultado: 21-mar-2020].
- [13] Riverbed Technology, “SteelHead Overview Customer Facing Presentation & Use Cases”, 2015.
- [14] Á. Arias, *Computación en la nube*, 2a ed. 2015.
- [15] Amazon Web Services, “Amazon EC2 Auto Scaling”, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://aws.amazon.com/es/ec2/autoscaling/?nc2=h\\_m1](https://aws.amazon.com/es/ec2/autoscaling/?nc2=h_m1). [Consultado: 21-mar-2020].

- [16] Google, "Google App Engine". [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/appengine/?hl=es>. [Consultado: 21-mar-2020].
- [17] Conzultek, "¿Qué es la computación en la nube y cuáles son sus alcances?" [En línea]. Disponible en: <https://conzultek.com/blog/que-es-computacion-nube-sus-alcances/>. [Consultado: 21-mar-2020].
- [18] M. Basso, K. Hobert, y M. Woodbridge, "Gartner Magic Quadrant for Content Collaboration Platforms", 2017.
- [19] NetPlatforms, "G Suite vs Office 365 – What's the difference?" [En línea]. Disponible en: <http://www.netplatforms.co.uk/g-suite-vs-office-365-whats-the-difference/>. [Consultado: 21-mar-2020].
- [20] Concepto.de, "¿Qué es un procesador de texto?", 2019. [En línea]. Disponible en: <http://concepto.de/procesador-de-texto/>. [Consultado: 21-mar-2020].
- [21] J. Carmona, *Hojas de cálculo: conceptos teóricos, ejercicios prácticos*. Sevilla: Editorial Mad, 1997.
- [22] Microsoft, "¿Debo guardar mis documentos en OneDrive para la Empresa o en un sitio de grupo?" [En línea]. Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/¿debo-guardar-mis-documentos-en-onedrive-para-la-empresa-o-en-un-sitio-de-grupo-d18d21a0-1f9f-4f6c-ac45-d52afa0a4a2e>. [Consultado: 22-mar-2020].
- [23] CCM, "Protocolo TCP", 2017. [En línea]. Disponible en: <https://es.ccm.net/contents/281-protocolo-tcp>. [Consultado: 22-mar-2020].
- [24] J. Lloret, M. García, y F. Boronat, *IPTV: La televisión por Internet*. Elearning S.L., 2009.
- [25] R. Stevens, B. Fenner, y A. Rudoff, "TCP Connection Establishment and Termination", en *UNIX® Network Programming Volume 1, Third Edition: The Sockets Networking API*, 3a ed., Addison Wesley, 2003.
- [26] P. Dordal, "TCP Connection Establishment", en *An Introduction to Computer Networks*, Loyola University Chicago, pp. 332–336.
- [27] P. Dordal, "Closing a connection", en *An Introduction to Computer Networks*, Loyola University Chicago.
- [28] IBM Corporation, "TCP window size and latency", 2016. .
- [29] J. Davies y Microsoft, "The Cable Guy TCP Receive Window Auto-Tuning", *Technet*, 2007. .

- [30] A. Kakar, "How WAN Optimization Works", *Riverbed Connections*, 2014.
- [31] Riverbed Technology, "How SteelHeads optimize data", en *SteelHead Deployment Guide*, 2018, p. 19.
- [32] W. Chou, "Inside SSL: the secure sockets layer protocol", *IT Professional*, vol. 4, núm. 4, pp. 47–52, 2002, doi: 10.1109/MITP.2002.1046644.
- [33] IBM, "Client Authentication", *IBM Knowledge Center*. [En línea]. Disponible en: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLTBW\\_2.2.0/com.ibm.zos.v2r2.halz002/tlsssl\\_ssl\\_client\\_auth.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLTBW_2.2.0/com.ibm.zos.v2r2.halz002/tlsssl_ssl_client_auth.htm). [Consultado: 22-mar-2020].
- [34] L. L. Peterson y B. S. Davie, "Applications", en *Computer Networks: A System Approach*, 3a ed., California: Morgan Kaufmann Publishers, 2003, pp. 650–651.
- [35] A. Anand, "Redundancy Elimination as a Primitive", University of Wisconsin-Madison, 2012.
- [36] N. T. Spring y D. Wetherall, "A Protocol-Independent Technique for Eliminating Redundant Network Traffic", 2000.
- [37] A. Anand, C. Muthukrishnan, y R. Ramjee, "Redundancy in Network Traffic: Findings and Implications", Seattle, 2009.
- [38] Y. Zhang y N. Ansari, "On Protocol-Independent Data Redundancy Elimination", 2014.
- [39] J. Metzler, "Wide Area Networks: Optimizing Performance For Your Branch Offices", *Business Communications Review*, p. 52, 2007.
- [40] A. B. King, *Speed Up Your Site: Web Site Optimization*. New Riders, 2003.
- [41] A. Gottlieb, "Why does MPLS cost so much more than Internet connectivity?", *Network World*, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.networkworld.com/article/2222196/cisco-subnet/why-does-mpls-cost-so-much-more-than-internet-connectivity-.html>. [Consultado: 22-mar-2020].
- [42] B. Balakrishnan, "Case study and analysis of WAN Optimization pre-requirements", Chennai, India, 2011.
- [43] S. Sitaram, "Getting the best connectivity and performance in Office 365", *Office 365 Blog*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/Office-365-Blog/Getting-the-best-connectivity-and-performance-in-Office-365/ba-p/124694>. [Consultado: 22-mar-2020].
- [44] P. Collinge, "How to quickly optimize Office 365 traffic for remote staff & reduce the load

- on your infrastructure”, *Microsoft*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/office-365-blog/how-to-quickly-optimize-office-365-traffic-for-remote-staff-amp/ba-p/1214571#>. [Consultado: 02-abr-2020].
- [45] Microsoft, “Office 365 URLs and IP address ranges”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/office365/enterprise/urls-and-ip-address-ranges>. [Consultado: 27-mar-2020].
- [46] Microsoft, “Office 365 Network Connectivity Principles”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://support.office.com/en-us/article/office-365-network-connectivity-principles-76e7f232-917a-4b13-8fe2-4f8dbccfe041>. [Consultado: 24-mar-2020].
- [47] Microsoft, “Content delivery networks”, *Office Support*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://support.office.com/en-us/article/Content-delivery-networks-0140f704-6614-49bb-aa6c-89b75dcd7f1f?ui=en-US&rs=en-US&ad=US>. [Consultado: 23-mar-2020].
- [48] K. Xu, X. Li, S. Kumar, y G. Shen, “Joint Replica Server Placement, Content Caching, and Request Load Assignment in Content Delivery Networks”, 2018.
- [49] Microsoft, “Descripción general de aceleradores WAN y herramientas de terceros (SharePoint Server 2010)”, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://technet.microsoft.com/es-es/library/hh206325\(v=office.14\).aspx](https://technet.microsoft.com/es-es/library/hh206325(v=office.14).aspx). [Consultado: 23-mar-2020].
- [50] R. Dangwal, “Introduction to WAN acceleration devices”, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/rishabhd/introduction-to-wan-accelerato>. [Consultado: 23-mar-2020].
- [51] Tech Target, “WAN optimization vendors: Comparison methodology and snapshot”, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://searchenterprisewan.techtarget.com/tutorial/WAN-optimization-vendors-Comparison-methodology-and-snapshot>. [Consultado: 23-mar-2020].
- [52] Microsoft, “Using third-party network devices or solutions on Office 365 traffic”, *Microsoft Support*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/office365/troubleshoot/miscellaneous/office-365-third-party-network-devices>. [Consultado: 05-ene-2020].
- [53] Riverbed, “Riverbed is an Azure-Certified and Gold Cloud Platform Competency partner who, together with Microsoft, are meeting customer’s business needs and driving their success”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.riverbed.com/mx/partners/technology-alliances/microsoft.html>.

- [Consultado: 20-mar-2020].
- [54] B. Munch, N. Rickard, y D. Cisco, “Gartner Magic Quadrant for WAN Optimization”, 2016.
- [55] A. Lerner y N. Rickard, “Market Guide for WAN Edge Infrastructure”, 2017.
- [56] Gartner Inc., “Magic Quadrant for WAN Edge Infrastructure”, 2019.
- [57] M. Kansanen, “Bachelor’s Thesis: Wide Area Network Acceleration in Corporate Networks”, Lappeenranta University of Technology, 2009.
- [58] Cisco Systems, “Cisco Wide Area Application Services (WAAS) Modules for ISR”. [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/interfaces-modules/wide-area-application-services-waas-modules-integrated-service-routers-isr/index.html>. [Consultado: 23-mar-2020].
- [59] Cisco Systems, “Introduction to Cisco WAAS”, en *Cisco Wide Area Application Services Configuration Guide (Software Version 4.1.3)*, California, 2009, pp. 1–3.
- [60] Cisco Systems, “Cisco White Paper: Accelerate Microsoft Office 365 Shared Deployments with Cisco WAAS WAN Optimization”, California, 2014.
- [61] Silver Peak, “NX Appliances for Application Acceleration and Replication Acceleration”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.silver-peak.com/products/wan-optimization/nx-physical-appliances>. [Consultado: 24-mar-2020].
- [62] Silver Peak, “Silver Peak NX Appliances - Datasheet”, 2018.
- [63] Silver Peak, “Advanced WAN Routing: Directing Traffic Over the Optimal Path to Any Enterprise or Cloud Application”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.silver-peak.com/products-solutions/unity/advanced-wan-routing>. [Consultado: 24-mar-2020].
- [64] Silver Peak, “Silver Peak Optimization for Microsoft Office 365 - Solution Sheet”, 2017.
- [65] Citrix Systems Inc., “Citrix SD-WAN Data Sheet”, 2020.
- [66] Citrix, “Citrix y Microsoft”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://lac.citrix.com/global-partners/microsoft/office-365.html>. [Consultado: 29-mar-2020].
- [67] Citrix, “Office 365 acceleration”, en *NetScaler SD-WAN WANOP 10.0*, 2018, p. 90.
- [68] Exinda Inc., “Exinda es Orquestación WAN”, 2014.
- [69] GFI Software, “Optimizing Office 365 Tips for Exceptional Performance”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.gfi.com/products-and-solutions/network-security->

- solutions/exinda-network-orchestrator/videos/optimizing-office-365-tips-for-exceptional-performance. [Consultado: 24-mar-2020].
- [70] Symantec Corporation, "Web Security Service - Datasheet", 2018.
- [71] Symantec Corporation, "White Paper: Office 365: Network Security & Performance – Simplified", California, 2017.
- [72] Riverbed Technology, "Riverbed SteelHead - Product Family Brochure", 2016.
- [73] Riverbed Technology, "SaaS Accelerator - Data Sheet", 2019.
- [74] Aryaka Networks, "Aryaka SmartServices Accelerates Microsoft Office 365 Performance", 2019.
- [75] Riverbed Technology, "Overview of SteelHead SaaS", en *SteelHead SaaS User Guide*, 2018, p. 11.
- [76] Riverbed Technology, "Physical In-Path Deployments", en *SteelHead Deployment Guide*, 2018, p. 197.
- [77] Riverbed, "HTTP Optimization", en *SteelHead Deployment Guide - Protocols*, 2018, p. 75.
- [78] Riverbed Technology, "The Riverbed SSL solution", en *SteelHead Deployment Guide - Protocols*, 2018, p. 169.
- [79] Riverbed Technology, "In-path rules overview", en *SteelHead User Guide*, 2018, p. 47.
- [80] Riverbed Technology, "Managing Certificates", en *SteelHead SaaS User Guide*, 2018, p. 41.
- [81] Cisco Systems Inc., "Basic Small Branch Network Overview", en *Basic Small Branch Network System Assurance Guide*, 2010, pp. 1–2.
- [82] Riverbed Technology, "WAN Optimization Test Plan 8.0", 2012.
- [83] Microsoft, "Obtenga las características avanzadas más recientes con Office 365", 2020. [En línea]. Disponible en: <https://products.office.com/es-es/business/compare-more-office-365-for-business-plans>. [Consultado: 25-mar-2020].
- [84] Riverbed Technology, "Riverbed System Ports". [En línea]. Disponible en: [https://support.riverbed.com/bin/support/static/oksf8h0os0pck6pv42smvag77t/html/cpgnmrv4gncrfusdps4s1lk261/scc\\_9.2\\_ug\\_html/index.html#page/scc\\_9.2\\_html/app\\_ports.14.1.html](https://support.riverbed.com/bin/support/static/oksf8h0os0pck6pv42smvag77t/html/cpgnmrv4gncrfusdps4s1lk261/scc_9.2_ug_html/index.html#page/scc_9.2_html/app_ports.14.1.html). [Consultado: 25-mar-2020].

- [85] Ookla, "Speedtest", 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.speedtest.net/es/about>. [Consultado: 26-mar-2020].
- [86] R. Menéndez, "Estudio del desempeño e implementación de una solución MPLS-VPN sobre múltiples sistemas autónomos", Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.
- [87] Account Manager de Riverbed LATAM, "Cantidad mínima de usuarios requeridos para venta de SteelHead SaaS", Comunicación oral, 2020.
- [88] Riverbed Technology, "SteelHead CX - Specification Sheet", 2019.
- [89] Country Sales Manager de Adistec Perú, "Tiempo de importación de equipamiento Riverbed", Comunicación oral, 2020.
- [90] Project Manager de Supra Networks, "Costos aproximados asociados a jornada laboral de PM y mantenimiento de infraestructura física", Comunicación oral.
- [91] Riverbed Technology, "Riverbed Q1 Price List", 2020.
- [92] Account Manager de Riverbed LATAM, "Descuento aproximado para partners de Riverbed", Comunicación oral, 2020.
- [93] Country Sales Manager de Adistec Perú, "Porcentaje de costo por importación de equipos Riverbed", Comunicación oral, 2020.