

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **CENTROS DE DATOS VIRTUALES VDC**

### **DISEÑO DE CENTROS DE DATOS VIRTUALES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES**

**Steve Alexander Calvopiña Tipán**

**steve.calvopina@epn.edu.ec**

**Carlos Alfonso Herrera Muñoz**

**carlos.herrera@epn.edu.ec**

**DMQ, Febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Steve Alexander Calvopiña Tipán declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**STEVE ALEXANDER CALVOPIÑA TIPÁN**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Steve Alexander Calvopiña Tipán, bajo mi supervisión.

---

**CARLOS ALFONSO HERRERA MUÑOZ**

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

STEVE ALEXANDER CALVOPÍÑA TIPAN

CARLOS ALFONSO HERRERA MUÑOZ

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis padres, ambos me han apoyado toda mi vida y les debo todo, no solo lo económico y material ustedes me han formado en la persona que soy ahora y aunque quizás nunca pueda pagarles todo eso, espero que este título les pueda hacer sentirse tan orgullosos de ser mis padres, como yo me siento de ser su hijo.

También se lo dedico a mi abuelita que me acompaño en cada paso de mi vida universitaria acompañándome en los mejores y peores momentos de este camino realmente usted mami se merece la mitad del título universitario, los amo un mundo a los tres.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas y cada una de las personas que me han acompañado durante este camino, a mis padres por supuesto sus consejos valen la sabiduría que me trajo hasta aquí Erika y William gracias por ser los mejores padres del mundo, a mi abuelita que sin ella nunca podría haberlo logrado, gracias por siempre haberme cuidado y, finalmente a mis amigos desde aquellos que conocí el primer día hasta los que conocí en las etapas finales de la carrera, incluso a aquellos que por alguna razón ya no forman parte de mi vida igual les agradezco y no olvidaré sus enseñanzas, pero sobre todo quiero agradecer a esos amigos que más me han ayudado, Karo, Edu y David, ustedes me convencieron de quedarme en la carrera y son responsables de las mejores memorias que tengo de los últimos años, espero a pesar de dejar de ser compañeros de universidad, jamás dejemos de ser amigos, a todos ustedes mil gracias.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Objetivo general .....	2
1.2	Objetivos específicos .....	2
1.3	Alcance .....	2
1.4	Marco teórico .....	3
1.4.1	Centro de Datos tradicional .....	3
1.4.2	Arquitectura de un Centro de Datos tradicional.....	4
1.4.3	Virtualización .....	6
1.4.4	Centro de Datos virtual .....	8
2	METODOLOGÍA .....	11
2.1	Arquitectura de un VDC .....	11
2.1.1	Arquitectura de la topología física.....	11
2.1.2	Arquitectura virtual del VDC.....	13
2.1.3	Arquitectura de red de un VDC .....	15
2.1.4	Arquitectura de almacenamiento de un VDC.....	16
2.1.5	Arquitectura de administración del VDC .....	17
2.2	Requisitos de un VDC .....	19
2.2.1	Requisitos generales.....	19
2.2.2	Requisitos de la topología física .....	19
2.2.3	Requisitos de la arquitectura virtual de un VDC .....	21
2.2.4	Requisitos de la arquitectura de red de un VDC .....	23
2.2.5	Requisitos de almacenamiento de un VDC.....	25
2.2.6	Requisitos para la administración del VDC .....	27
2.3	Diseño de un VDC.....	31
2.3.1	Diseño de la topología física.....	31
2.3.2	Diseño virtual del VDC.....	32
2.3.3	Diseño de red .....	33
2.3.4	Diseño de almacenamiento .....	35
2.3.5	Diseño de administración del VDC .....	36
2.4	Topología final.....	37
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
3.1	Resultados .....	39

3.1.1	Beneficios de la virtualización de un Centro de Datos .....	39
3.1.2	Proceso de diseño y arquitectura.....	40
3.2	Conclusiones.....	41
3.3	Recomendaciones.....	42
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## RESUMEN

Un Centro de Datos virtual (VDC) es una alternativa tecnológica que mediante software permite sustituir a la infraestructura física de un Centro de Datos tradicional, lo que permite que la red pueda ser gestionada de manera más eficiente y además tiene mayor escalabilidad.

En el presente trabajo se realiza el diseño de un VDC tomando en cuenta cada aspecto importante con el que debe contar para poder ser implementado en una red real.

A este trabajo de integración curricular (TIC) se lo ha dividido en tres capítulos que comprenden la introducción, la metodología y los resultados. Durante el primer capítulo se hace énfasis en las ventajas que supone usar esta alternativa frente a un Centro de Datos físico y como la adopción de esta tecnología va de la mano con otras nuevas opciones como las redes definidas por software (RDS) o las redes en la nube.

El segundo capítulo muestra la metodología del documento que se divide en tres secciones, la primera es acerca de la arquitectura de cada parte importante en un VDC, la segunda son los requisitos propuestos para el diseño de VDC que se realizará a continuación y finalmente la tercera parte del capítulo es el diseño como tal del VDC en el que se toman en cuenta todas las características de la arquitectura del sistema, además se verifica que se cumplan todos los requisitos planteados anteriormente para concluir con una diseño completo de un Centro de Datos Virtual.

El capítulo de resultados es una discusión acerca del diseño completado anteriormente y se centra en la verificación de que los puntos planteados en el primer capítulo se cumplan, además se tienen las conclusiones y recomendaciones a las que se han llegado después de completar todo el trabajo de integración curricular.

**PALABRAS CLAVE:** VDC (Centro de Datos Virtual), MV (Máquina virtual), virtualización,



## **ABSTRACT**

A Virtual Data Center (VDC) is a technological alternative that, through software, can replace the physical infrastructure of a traditional Data Center, which allows the network to be managed more efficiently and has greater scalability.

In this work, the design of a VDC is carried out considering each important aspect that must be implemented in a real network.

This work of curricular integration (ICT) has been divided into three chapters comprising the introduction, the methodology and the results. The first chapter emphasizes the advantages of using this alternative to a physical Data Center and how the adoption of this technology goes hand in hand with other new options such as software-defined networks (SDN) or cloud networks.

The second chapter shows the methodology of the document which is divided into three sections, the first one is about the architecture of each important part in a VDC, the second one is the proposed requirements for the VDC design to be carried out next and finally the third part of the chapter is the VDC design as such in which all the characteristics of the system architecture are taken into account, in addition it is verified that all the requirements previously raised are met to conclude with a complete design of a Virtual Data Center.

The results chapter is a discussion about the previously completed design and focuses on the verification that the points raised in the first chapter are met, in addition there are the conclusions and recommendations that have been reached after completing all the work of curriculum integration.

**KEYWORDS:** VDC (Virtual Data Center), VM (Virtual Machine), virtualization.

# 1 INTRODUCCIÓN

Un data center tradicional es la ubicación física donde se encuentran todos los equipos necesarios para que una red funcione. Todas las redes desde las grandes infraestructuras con la que cuentan los proveedores de internet o las pequeñas que emplean negocios con pocos equipos conectados requieren de un Centro de Datos [1].

A medida que las tecnologías de información avanzan se crean soluciones más eficientes para los nuevos retos y desafíos que se presentan en la actualidad, la virtualización, la automatización de herramientas de TI y los servicios de nube con los que contamos en la actualidad simplifican y mejoran el funcionamiento de varios elementos de una red, utilizando estas innovaciones en el funcionamiento de las redes actuales surge una alternativa a los centros de datos tradicionales esta alternativa son los centros de datos virtuales [2].

Un Centro de Datos virtual es un concepto estrechamente relacionado con las redes por nube y las redes definidas por software el cual permite una mayor escalabilidad, seguridad y disponibilidad en los recursos de TI lo que se puede traducir en más ahorros y una mayor productividad para un negocio [3].

Los centros de datos virtuales ofrecen una serie de beneficios significativos para las organizaciones que buscan optimizar sus operaciones de TI y mejorar la eficiencia.

Un beneficio con el que cuenta un VDC es que como los dispositivos virtualizados se encuentran separados del hardware entonces el tráfico de datos siempre permanece encapsulado y seguro, además las herramientas de gestión centralizadas en estos equipos permiten que las políticas de seguridad siempre se encuentren actualizadas y en buen estado [4].

Otro beneficio importante de los VDC es su menor costo, ya que no requieren de un espacio físico para funcionar, ni de costos de mantenimiento o de adquisición de hardware por lo que los equipos de TI virtualizados se encuentran almacenados en el servicio de nube del proveedor [4].

El presente trabajo se centra en el diseño de un VDC, se incluye la infraestructura necesaria, la arquitectura, los requisitos básicos para su implementación y el funcionamiento general de un VDC en diferentes entornos como el empresarial, educativo o comercial.

## 1.1 Objetivo general

Diseñar un Centro de Datos Virtual

## 1.2 Objetivos específicos

- Describir las características necesarias para diseñar un VDC.
- Estudiar y comprender los equipos involucrados en un VDC.
- Estudiar los requisitos necesarios para poder diseñar un data center virtual
- Proponer un diseño de un VDC.

## 1.3 Alcance

Para el desarrollo del componente se realizará el estudio para el diseño de un data center virtual y para este diseño se tendrán en cuenta todos los parámetros necesarios para la fase de planteamiento, implementación y análisis de resultados.

- **Fase de planteamiento**

Durante el presente trabajo de TIC se realizará una recopilación de datos sobre las ventajas, desafíos que suponen diseñar e implementar un Centros de Datos Virtuales en una empresa u oficina de trabajos además de los requerimientos para una implementación realista como:

- Virtualización y su aplicación en los data centers.
- Arquitectura y componentes de un VDC.

- **Fase de implementación**

• En base a la recopilación de información necesaria para propuesta de un Centro de Datos virtuales y con los objetivos de aplicaciones y casos de uso bien establecidos pasamos a la fase de implementación en la que recopilares equipos necesarios y correcta configuración de equipos.

- **Fase de revisión de resultados**

Una vez terminado el diseño de un VDC se realizará el análisis de los resultados y se obtendrán las conclusiones necesarias en base a los datos recolectados anteriormente.

## **1.4 Marco teórico**

Con el progreso tecnológico y la digitalización global, muchos modelos de negocios deben ser actualizados para mantenerse competitivos y poder brindar una mejor experiencia a sus clientes o usuarios.

La transformación de un Centro de Datos convencional a lo que se denomina un Centro de Datos virtual constituye una de las innovaciones tecnológicas emergentes que se compromete a potenciar de manera integral a su predecesor, con la meta última de lograr que, con el tiempo, la totalidad de los usuarios que actualmente utilizan un Centro de Datos convencional transiten hacia esta vanguardista versión denominada VDC.

Para entender los beneficios que brindan los VDC y en el área de las tecnologías de la información y el proceso necesario para diseñar uno, es necesario tener claro los conceptos básicos que se utilizan en el desarrollo de este tópico.

### **1.4.1 Centro de Datos tradicional**

Un Centro de Datos es el corazón tecnológico de las operaciones de TI en una empresa moderna. El Centro de Datos proporciona la infraestructura de TI crítica necesaria para ofrecer recursos y servicios a los empleados, socios y clientes de las empresas de todo el mundo [6].

El diseño de un Centro de Datos se sustenta en una red de recursos informáticos y dispositivos de almacenamiento que facilitan la distribución eficiente de información y datos compartidos. Elementos cruciales en el diseño de un Centro de Datos abarcan dispositivos tales como routers, switches, firewalls, sistemas de almacenamiento, servidores y controladores, cuya función es garantizar la continuidad y la robustez de la red en todo momento [7].

Las infraestructuras de un Centro de Datos constituyen el activo más significativo en el ámbito de tecnologías de la información para cualquier empresa. Es crucial dirigir una atención especial a los aspectos vinculados con el diseño y la construcción de estos centros, con el fin de asegurar que la instalación resultante cumpla con las exigencias empresariales a lo largo de su ciclo de vida. Este enfoque proactivo no solo respalda las necesidades presentes de la organización, sino que también establece una base sólida para la adaptabilidad y la eficiencia continua en un entorno tecnológico en constante evolución [6].

Un Centro de Datos debe poder proteger el rendimiento y la integridad de la información que cruza a través de sus equipos es decir que los objetivos más importantes de un Centro de Datos deben ser contar con dispositivos de seguridad de red y con equipos que garanticen la entrega de aplicaciones.

**Dispositivos de seguridad de red:** Incluyen firewalls y protección en contra de intrusos no deseados para cuidar la información [6].

**Garantía de entrega de aplicaciones.** Estos mecanismos garantizan la resistencia y la disponibilidad de las aplicaciones mediante la implementación de funciones automáticas de conmutación por error y equilibrio de carga. Estas estrategias no solo buscan mantener la estabilidad de las aplicaciones, sino que también trabajan de manera coordinada para distribuir eficientemente la carga de trabajo, asegurando así una experiencia continua y confiable para los usuarios [6].

#### 1.4.2 Arquitectura de un Centro de Datos tradicional

La arquitectura de un Centro de Datos varía según las necesidades identificadas por el equipo de TI, sin embargo, existen algunas reglas generales que se pueden aplicar para el diseño general de un Centro de Datos.

**Instalaciones de un Centro de Datos:** Las instalaciones de un Centro de Datos son un edificio físico donde una organización despliega su infraestructura informática. Las instalaciones físicas deben considerar varios factores al diseñar una instalación [8].

En la Figura 1.1, se presenta un ejemplo de las instalaciones físicas de un Centro de Datos.



**Figura 1.1.** Instalaciones de un Centro de Datos [9].

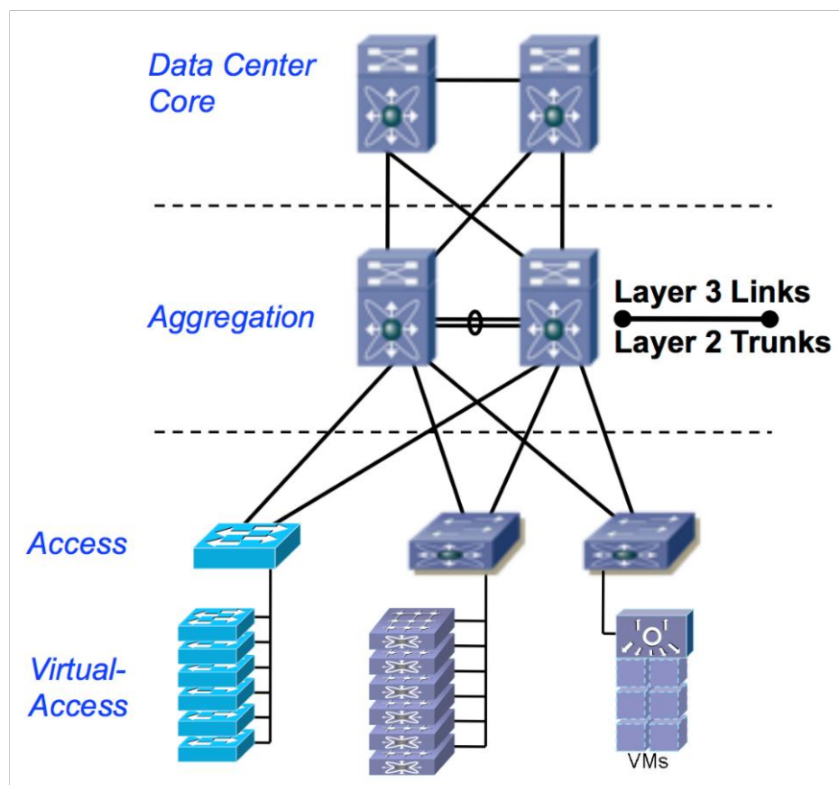
**Sistema de alimentación eléctrica:** En este apartado se debe tomar en cuenta los equipos de alimentación de emergencia PSU, generadores externos y el espacio de almacenamiento para cargar estos equipos [8].

**Equipo de refrigeración:** Los centros de datos tienen instalados costosos equipos que funcionan casi las 24 horas del día, por lo que es necesario tener instalado un sistema de aire acondicionado adecuado. Para evitar el sobrecalentamiento y el uso excesivo de energía, hay que incluir sistemas eficientes de refrigeración y flujo de aire en el diseño de la red de un Centro de Datos [10].

**Seguridad:** Los centros de datos requieren medidas de protección que protejan la información contra daños, hurto y uso indebido. Las medidas de seguridad para ingresar a un Centro de Datos pueden variar según las características particulares de cada ubicación física, pero se recomienda que se cuente con un control de acceso, vigilancia por vídeo, alarmas y control de identidad [11].

**Infraestructura TI:** La infraestructura TI se refiere a todo el equipo necesario para correr las aplicaciones que se ocupan en la red [12].

En la Figura 1.2, se presenta un ejemplo de la infraestructura TI de un Centro de Datos básico.



**Figura 1.2.** Infraestructura TI de un Centro de Datos [13].

Los servidores soportan la funcionalidad del Centro de Datos alojando aplicaciones y ejecutando tareas informáticas. Las instalaciones suelen utilizar armarios rack para almacenar servidores [12].

Los dispositivos de almacenamiento, como las matrices de discos, almacenan y protegen aplicaciones y datos empresariales [12].

Los equipos de conectividad de red crean una red de elementos de ciberseguridad como firewalls, routers, switches y equipos de balanceo de carga para un procesamiento eficaz de los datos [12].

La construcción de un espacio adecuado para almacenar todos los equipos y que además cumpla con las recomendaciones de enfriamiento y seguridad constituyen un reto que una pequeña empresa no puede permitirse [14].

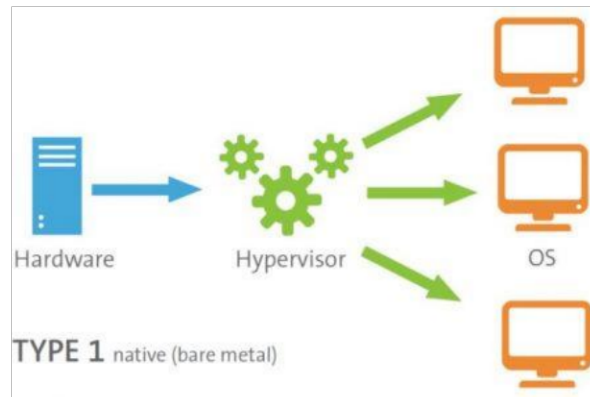
### 1.4.3 Virtualización

La virtualización representa un procedimiento que maximiza la eficiencia en el uso del hardware físico de las computadoras y sirve como el fundamento esencial para la implementación de la computación en la nube.

La virtualización utiliza software para establecer una capa de abstracción sobre el hardware, posibilitando la subdivisión de los elementos de una computadora única en varias máquinas virtuales (VM). Cada máquina virtual opera con su propio sistema operativo (SO) y actúa como una entidad informática independiente, a pesar de que todas las VM comparten el mismo hardware subyacente. Este enfoque no solo permite una mayor flexibilidad y optimización de recursos, sino que también facilita la creación de entornos computacionales altamente escalables y versátiles [15].

En la actualidad, la virtualización se ha convertido en una táctica extendida en la estructura empresarial, desempeñando un papel esencial en la eficiencia económica de la computación en la nube [15].

**Máquina virtual (VM):** Al igual que una máquina física, una máquina virtual posee componentes como una unidad central de procesamiento (CPU), memoria, discos para almacenamiento de archivos y capacidad de conexión a Internet. Mientras que las piezas que componen el ordenador físico son tangibles, las MV son considerados equipos definidos por software almacenados en un servidor físico, que sólo en código y no tienen un cuerpo físico [16]. La Figura 1.3 muestra la virtualización de una MV.



**Figura 1.3.** Infraestructura TI de un Centro de Datos [16].

### **Ventajas de la virtualización:**

**Eficiencia de recursos:** Antes de la implementación de la virtualización, era necesario asignar una CPU física dedicada a cada servidor de aplicaciones. Sin embargo, mediante la virtualización de servidores, ahora es posible ejecutar múltiples aplicaciones, cada una en su propia máquina virtual con su sistema operativo correspondiente, todo ello en un único dispositivo físico, sin comprometer la confiabilidad. Este enfoque posibilita una optimización eficiente de la capacidad informática del hardware físico, maximizando su rendimiento y eficacia [15].

**Gestión más sencilla:** La transición de computadoras físicas a máquinas virtuales definidas por software simplifica la aplicación y administración de políticas codificadas en software. Este enfoque posibilita la creación de flujos de trabajo automatizados para la gestión de servicios de tecnologías de la información. La ventaja radica en la capacidad de instalar estos servicios de manera repetitiva y uniforme, eliminando la necesidad de una configuración manual compleja, ineficaz y propensa a errores. Los administradores pueden emplear políticas de seguridad de virtualización para aplicar configuraciones específicas en todas las máquinas virtuales mediante una única gestión centralizada. Incluso, estas políticas tienen el potencial de mejorar la eficiencia de los recursos al retirar máquinas virtuales no utilizadas, contribuyendo así al ahorro de espacio y potencia informática [15].

**Alta disponibilidad:** Cuando se cae un sistema operativo o cuando una de las aplicaciones no es accesible, esto provoca tiempos en los que no se realiza ninguna acción e interrumpe la productividad de los usuarios. En un ambiente virtualizado es más sencillo y económico implementar VM redundantes y conmutarlas entre sí para prevenir posibles problemas [15].

**Aprovisionamiento más rápido:** La adquisición, instalación y configuración de hardware específico para cada aplicación consume una cantidad considerable de tiempo. En



contraste, cuando el hardware ya está en su lugar, el aprovisionamiento de máquinas virtuales para ejecutar todas las aplicaciones se realiza de manera mucho más rápida. Este proceso puede incluso ser automatizado mediante el uso de software especializado en la gestión de flujos de trabajo, agilizando aún más la implementación y reduciendo la carga manual asociada. Este enfoque ahorra tiempo y ofrece una mayor eficiencia en la gestión y operación de sistemas informáticos [15].

#### 1.4.4 Centro de Datos virtual

Un VDC es un nuevo tipo de Centro de Datos que aprovecha la computación en nube. Es un contenedor de recursos y proporciona gestión para recursos informáticos, de almacenamiento y de red. Los usuarios pueden gestionar y suministrar servicios a un VDC a través de una plataforma en la nube [17].

Con la llegada de la digitalización, la arquitectura de red y las capacidades de servicio de los centros de datos tradicionales se empiezan a quedar anticuados frente a las nuevas tecnologías [17].

**Arquitectura de red:** Las innovaciones tecnológicas más recientes plantean los siguientes requisitos a la red del Centro de Datos: alta escalabilidad, mayor robustez, menor coste de configuración, gran ancho de banda entre servidores, protocolos de red eficientes, topología flexible y control de la capacidad de los enlaces, mayor eficiencia energética y seguridad máxima del tráfico entre servicio. Estos requisitos están fuera del alcance de una red de Centro de Datos tradicional. Una arquitectura de red aplanada, virtualizada, programable y definible es necesaria para seguir con los requerimientos de un Centro de Datos actual [17].

**Capacidades de servicio:** La eficiencia de implementación de nuevos servicios en un DC tradicional es baja. Antes de prestar nuevos servicios, se debe planificar, configurar, probar y evaluar el impacto en los servicios existentes. Esto significa que el despliegue de nuevos servicios se demora una gran cantidad de tiempo y que los recursos no se utilizan de forma eficiente. Muchos sistemas necesitan ocupar exclusivamente un único equipo, lo que da lugar a grupos de equipos aislados. Cuando un servicio sólo consume unos pocos recursos de un equipo exclusivo, otros sistemas no pueden consumir los recursos restantes de dicho equipo [17].

Para adaptarse a las nuevas tendencias y resolver las dificultades de servicio de los DC tradicionales, un VDC utiliza tecnologías de LAN virtualizadas (VXLAN) y redes definidas

por software (SDN) y trabaja con la plataforma en nube para implementar la adaptación y la asociación entre redes y servicios [17].

**Redes definidas por software (SDN):** Las redes definidas por software proporcionan un nuevo paradigma que intenta responder a los nuevos requisitos de agilidad empresarial y mejora de la experiencia del usuario [18].

Actualmente muchos sistemas o aplicaciones operan desde la nube, donde las aplicaciones virtualizadas se alojan en una nube pública o privada. Gracias a esto, los usuarios pueden acceder a sus archivos desde cualquier lugar, en cualquier momento y desde cualquier dispositivo [18].

La Open Network Foundation (ONF) define las redes definidas por software de la siguiente manera: "La separación física del plano de control de la red del plano de reenvío, y donde un plano de control controla varios dispositivos" [18].

En la Figura 1.4. se muestra la arquitectura de una SDN.

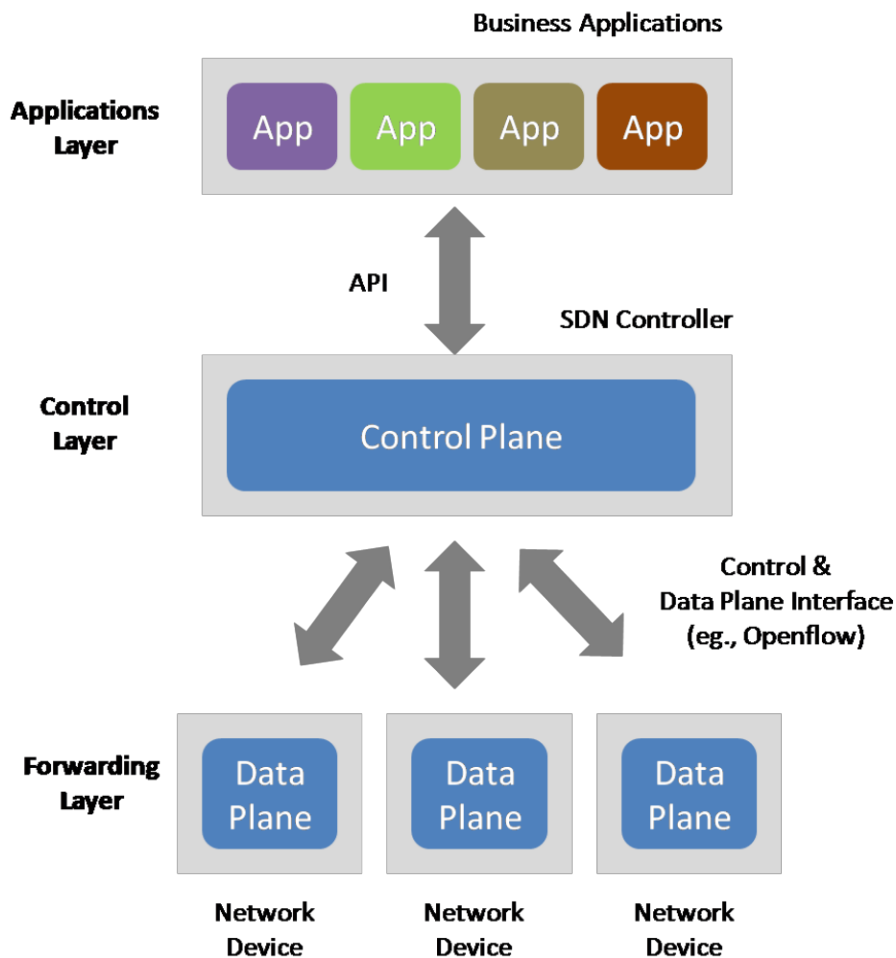


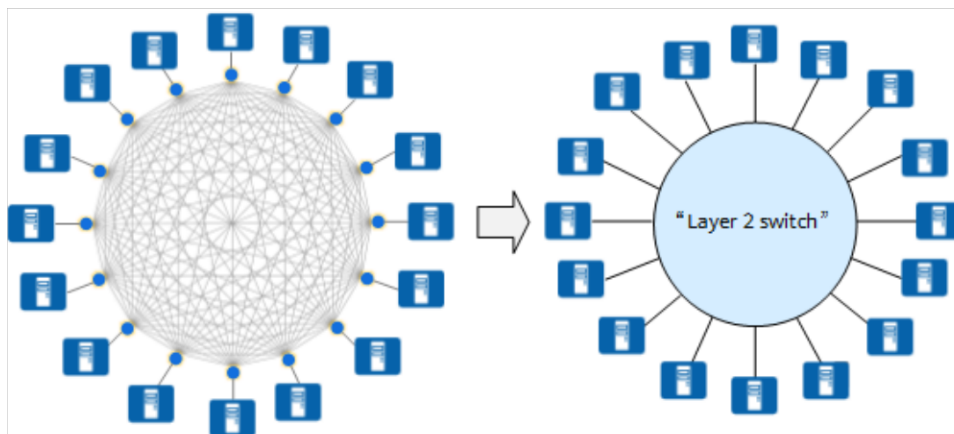
Figura 1.4. Arquitectura de una SDN [19].

Dentro de una infraestructura SDN, las aplicaciones pueden solicitar y obtener servicios de una infraestructura de red cercana. Esta capacidad conduce al desarrollo de aplicaciones más proactivas y dinámicas que mejoran la experiencia del usuario. SDN cambia la forma en que se diseñan y despliegan las redes, donde las aplicaciones tienen más control sobre la configuración de la infraestructura de red. SDN ofrece a las empresas la oportunidad de construir redes con un mayor conocimiento de las aplicaciones e inteligencia sobre los atributos de los protocolos de Capa 4 a Capa 7 y los requisitos de entrega [18].

**LAN Virtual Extensible (VXLAN):** Es una tecnología de virtualización de red ampliamente utilizada en grandes redes de capa de enlace. VXLAN establece un túnel lógico entre los dispositivos de red de origen y destino, a través del cual utiliza encapsulación MAC-in-UDP para los paquetes UDP, lo que permite enrutar estos paquetes a través de la red como paquetes IP comunes. Esto libera a las máquinas virtuales de la red de Capa 2 de las limitaciones estructurales de las redes de Capa 2 y Capa 3 [20].

VXLAN permite una interconexión de hasta 16 millones de redes virtuales y con una arquitectura basada únicamente en capa 2 para ser más amigable con la migración a una virtualización total. A diferencia de una VLAN normal en la que se pueden crear un máximo de 4000 Vlans con arquitectura de red que limita el alcance de la migración dinámica de máquinas virtuales [20].

En la Figura 1.5. se muestra la manera en que los servidores ven la red en una VXLAN con un único “Switch Virtual” [20].



**Figura 1.5.** Virtualización de una red en un único “Switch virtual” [20].

VXLAN proporciona un método para crear un túnel virtual en la red IP para reenviar de forma transparente los datos de usuario cuando se requiere la comunicación entre un nodo de origen y de destino en la red IP. Dos nodos cualesquiera pueden comunicarse a través

de un túnel VXLAN. Para los servidores, VXLAN virtualiza toda la red de infraestructura en un gran "conmutador virtual de capa 2", al que se conectan todos los servidores [20].

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Arquitectura de un VDC**

Un Centro de Datos Virtual tiene 5 tipos de arquitectura en su diseño, estas arquitecturas se encuentran a continuación.

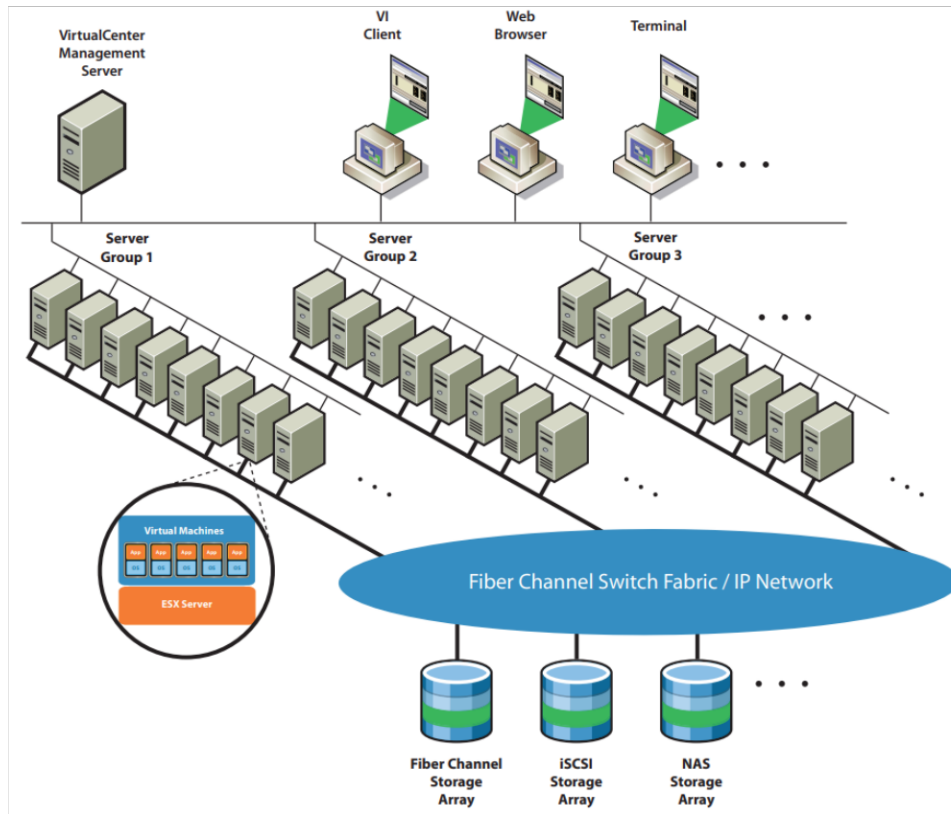
- Arquitectura de la topología física
- Arquitectura virtual del VDC
- Arquitectura de red
- Arquitectura de almacenamiento
- Arquitectura de administración del VDC

Cada una de ellas es importante para el óptimo funcionamiento de un VDC y por tanto serán descritas con el fin de entender que requisitos son necesarios en cada etapa del diseño.

#### **2.1.1 Arquitectura de la topología física**

Mediante la virtualización y los servicios en nube los departamentos de TI pueden crear un Centro de Datos virtual utilizando la tecnología y el hardware estándar del sector. No es necesario adquirir hardware especializado. Además, un VDC permite a los usuarios crear un entorno que se gestiona de forma centralizada por servidores de gestión y puede controlarse remotamente.

En la Figura 2.1 se observa la infraestructura de un Centro de Datos el cual cuenta con muchos servidores físicos, un servidor dedicado para la administración de cada servicio y un cableado que conecte a todos los equipos del Centro de Datos.



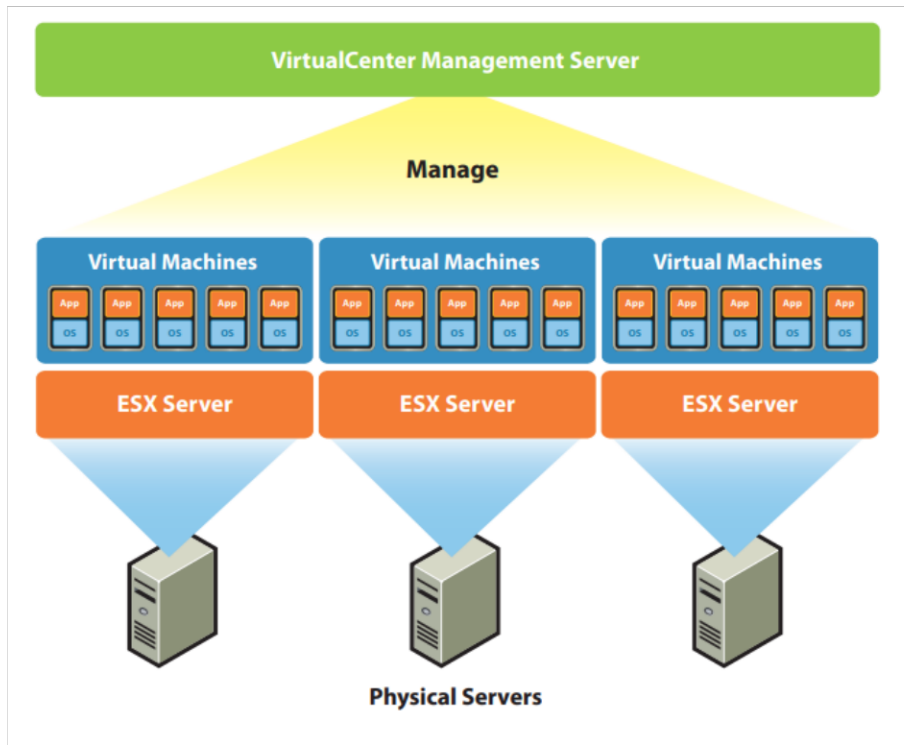
**Figura 2.1.** Infraestructura de un Centro de Datos [21].

Para la infraestructura física de un VDC no es necesaria toda la infraestructura mostrada en la Figura 2.1, ya que mediante la virtualización varios servicios pueden ser incluidos dentro de una sola computadora física que contenga dos o más máquinas virtuales con servidores corriendo en ellos.

Cuando se trabaja en un entorno virtualizado es posible reducir de gran medida la cantidad de equipos utilizados y con la ayuda de un servidor ESX se alcanza un nivel de eficiencia muy alto al cual el hardware por separado no puede alcanzar [22].

**Servidor ESX:** ESX es un hipervisor que se puede instalar directamente en un servidor físico sin utilizar ningún sistema operativo para correr ESX. Permite particionar los recursos de hardware de manera efectiva, consolidar aplicaciones y reducir costos [23].

En la Figura 2.2 se presenta la misma topología lógica de un Centro de Datos mostrada en la Figura 2.1 pero virtualizada con lo que se muestra el ahorro en computadores físicos con los beneficios económicos, de espacio y de configuración que esto implica.



**Figura 2.2.** Infraestructura física de un Centro de Datos virtual [21].

### 2.1.2 Arquitectura virtual del VDC

Un VDC requiere que toda la infraestructura de TI sea virtualizada incluyendo servidores, almacenamiento y redes.

La arquitectura de un VDC presenta un conjunto de elementos virtuales utilizados para construir un Centro de Datos virtual:

- Recursos informáticos y de memoria denominados Hosts, Clústeres y Pools de recursos
- Datastores también conocidos como recursos de almacenamientos
- Recursos de red
- MV (máquina virtual)

Host: Un Host se presenta como una entidad virtual que encapsula los recursos de computación y memoria de una máquina física en la cual se ejecuta ESX Server. En otras palabras, el Host constituye una representación virtualizada de la potencia de procesamiento y la capacidad de almacenamiento de la máquina física, facilitando la ejecución de máquinas virtuales de manera eficaz [21].

Clúster: Cuando se unen una o más máquinas físicas con el propósito de colaborar y ser administradas de manera integral, los recursos combinados de computación y memoria dan lugar a la formación de un Clúster. En este contexto, las máquinas pueden ser incorporadas o retiradas de forma dinámica del Clúster, permitiendo una flexibilidad y escalabilidad continuas en la gestión de recursos. Este enfoque posibilita la adaptabilidad de la infraestructura, ya que las configuraciones del Clúster pueden ajustarse en tiempo real para responder a las demandas cambiantes de la carga de trabajo y las necesidades del sistema. [21].

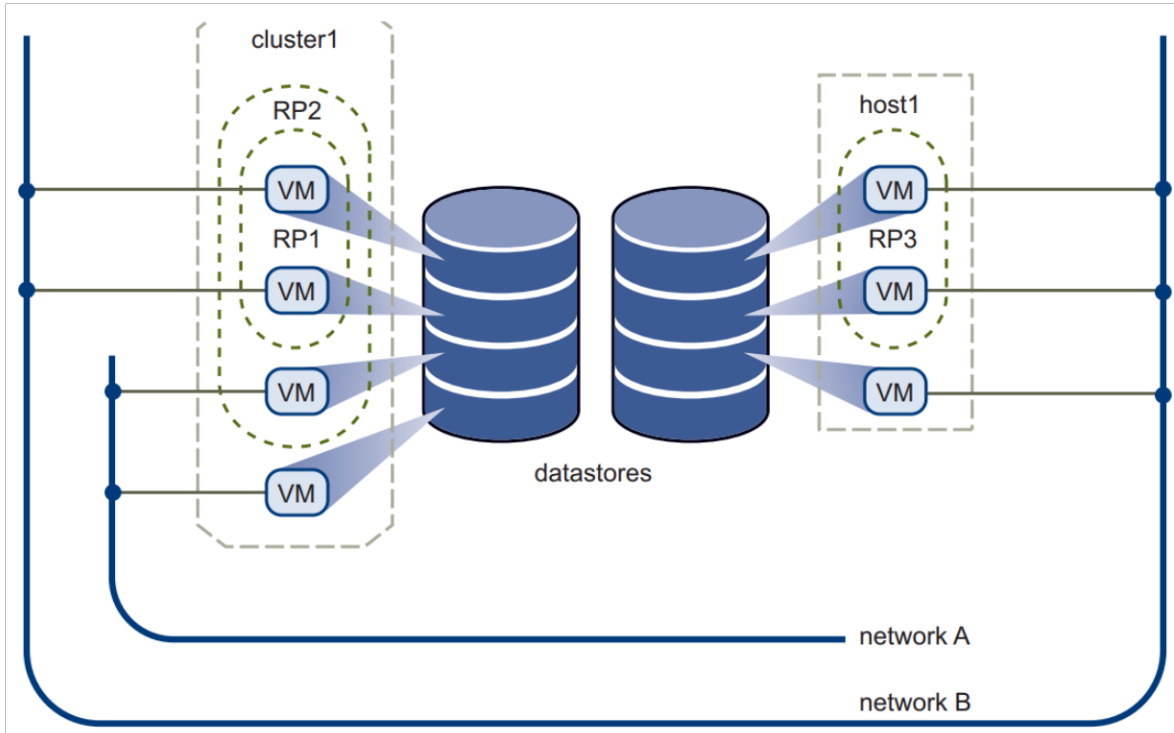
**Pool de recursos:** Los recursos de procesamiento y memoria de tanto los Hosts como los Clústeres pueden ser divididos de manera organizada en una estructura jerárquica conocida como Pools de Recursos. Esta jerarquía ofrece una forma sistemática de gestionar y asignar recursos, permitiendo una mayor flexibilidad y eficiencia en la distribución de la capacidad de cómputo [21].

**Datastore:** Los Datastores constituyen representaciones virtuales que engloban diversas combinaciones de recursos provenientes del almacenamiento físico presente en el Centro de Datos. Estos recursos físicos de almacenamiento se originan a partir de diversas fuentes, como los discos locales del servidor, los sistemas de almacenamiento en red (SAN) y las matrices de Almacenamiento en Red (NAS). En otras palabras, los Datastores ofrecen una visión virtualizada y unificada de los diversos elementos de almacenamiento físico, integrando de manera eficiente los recursos provenientes de diferentes dispositivos y tecnologías de almacenamiento en el entorno del Centro de Datos [24].

**Recursos de red:** las redes virtuales sirven como la interfaz que conecta y coordina de manera efectiva las operaciones entre las máquinas virtuales y el entorno de red física interconectada [21].

**Máquina virtual:** Cuando se crean, las máquinas virtuales son asignadas a un host, clúster o pool de recursos concreto y a un almacén de datos. A manera de analogía se puede decir que una MV consume recursos de cómputo como un aparato físico consume electricidad. Mientras está apagada, suspendida o inactiva, no consume recursos. Encendida, consume recursos dinámicamente, utilizando más a medida que la carga de trabajo aumenta o menos a medida que la carga de trabajo disminuye [21].

La Figura 2.3 muestra una arquitectura de un Centro de Datos virtual simple.



**Figura 2.3.** Arquitectura de un Centro de Datos virtual [21].

### 2.1.3 Arquitectura de red de un VDC

La arquitectura de red en un VDC es un conjunto de elementos de redes virtuales que permite crear conexiones entre MV en el Centro de Datos, así como sucedería en un entorno físico.

Las redes virtuales mediante software permiten la comunicación entre varios ordenadores, VM y servidores virtuales a través de distintas ubicaciones de oficinas y centros de datos [25].

En una infraestructura de red física, se emplean switches y routers físicos para gestionar las operaciones en las capas 2 y 3, junto con tarjetas de interfaz de red (NIC) y adaptadores de red físicos para establecer la conexión entre computadoras y servidores en la red. Por otro lado, las redes virtuales trasladan estas funciones del ámbito físico al entorno de software.

En entornos virtuales, las operaciones típicamente manejadas por hardware, como switches y routers, así como la conectividad física a través de NIC y adaptadores, son ahora gestionadas por soluciones de software. Este enfoque proporciona una flexibilidad adicional, permitiendo una configuración y gestión más dinámicas de las redes, sin



depender de la infraestructura física tradicional. En resumen, las redes virtuales llevan a cabo estas funciones mediante software, marcando un cambio significativo en la forma en que se estructuran y operan las redes [25].

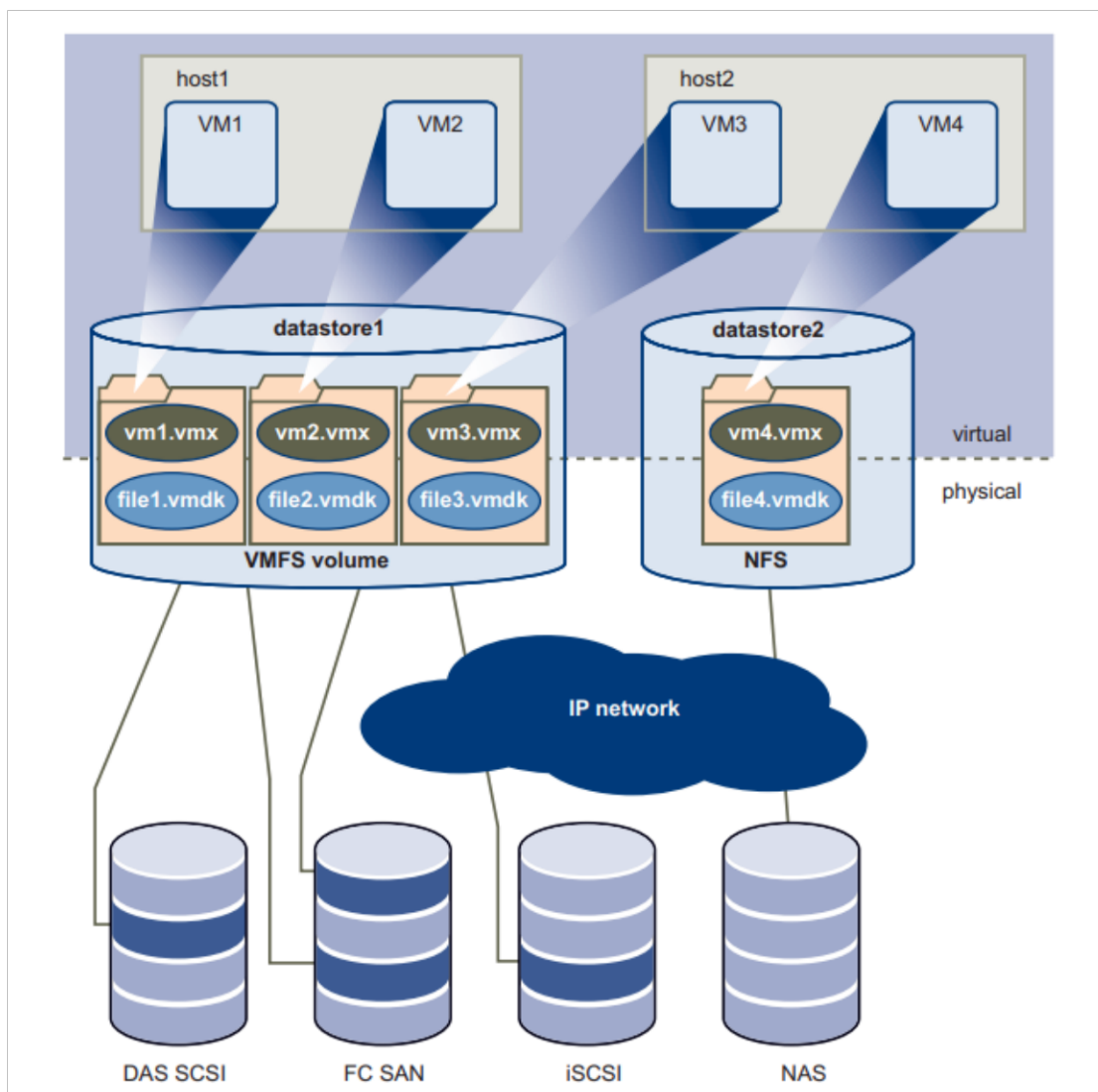
Un conmutador virtual, también conocido como vSwitch, es responsable de gestionar y canalizar las interacciones entre la red física preexistente y las componentes virtuales de la red, como las máquinas virtuales. Por su parte, un adaptador de red virtual posibilita la conexión de ordenadores y máquinas virtuales a una red, incluso facilitando la interconexión de todas las máquinas dentro de una red local (LAN) hacia una red más amplia [25].

#### **2.1.4 Arquitectura de almacenamiento de un VDC**

La eficiencia operativa de un Centro de Datos depende en gran medida de su capacidad para almacenar información de manera eficiente. Por este motivo es importante que cuente con una amplia capacidad de almacenamiento para gestionar eficazmente los datos, al tiempo que garantiza una sólida protección contra posibles amenazas como la pérdida o el robo de información. Además, la implementación de un riguroso sistema de copias de seguridad se convierte en una necesidad esencial para respaldar de manera segura toda la información crítica, proporcionando así una capa adicional de seguridad y asegurando la continuidad operativa del centro [26].

Un Datastore puede compararse con un dispositivo de almacenamiento destinado a servir como el espacio principal para los discos virtuales que residen dentro de las máquinas virtuales. Cada disco virtual, contenido dentro de su respectiva máquina virtual, actúa de la misma manera que un archivo alojado en un directorio, proporcionando así una estructura que facilita la manipulación sencilla de dichos discos virtuales. Un aspecto destacado de esta configuración es la capacidad de añadir discos virtuales a una máquina virtual incluso mientras esta se encuentra en pleno funcionamiento, lo que mejora significativamente la flexibilidad y la capacidad de adaptación del entorno virtual [21].

En la Figura 2.4 se muestra la arquitectura de almacenamiento de un VDC con la separación del espacio virtual y físico.

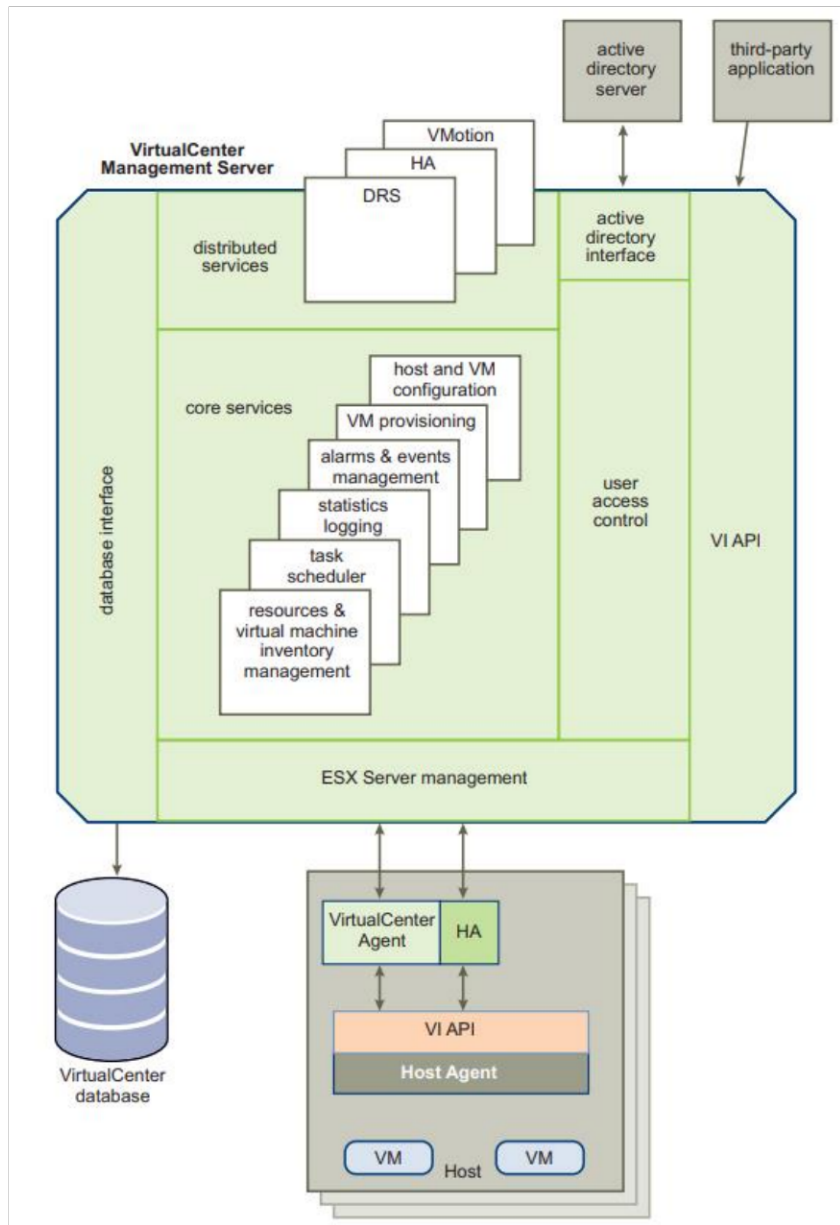


**Figura 2.4.** Arquitectura de almacenamiento de un VDC [21].

### 2.1.5 Arquitectura de administración del VDC

La administración de servidores dentro de un VDC debe ofrecer una gestión centralizada que integre recursos físicos provenientes de diversas instalaciones de ESX Server. Además, busca proporcionar a los administradores del sistema una compilación central de recursos que sea tanto sencilla como flexible, facilitando así el proceso de aprovisionamiento de máquinas virtuales en el entorno virtual [26].

La Figura 2.5 muestra las partes más importantes de un agente de administración en un VDC.



**Figura 2.5.** Administración de servidores en un VDC [21].

En un agente de administración del VDC se deben destinar recursos hacia el control de acceso de usuario, servicios de core, servicios de distribución y de interfaces de recursos externos [26].

El Control de Acceso de Usuarios brinda al administrador del sistema la capacidad de crear y administrar distintos niveles de acceso en el VDC para usuarios específicos. Por ejemplo, es posible establecer un nivel de acceso que permita la gestión de la configuración de los servidores físicos en el Centro de Datos, mientras que otro nivel podría limitarse a la administración de recursos virtuales dentro de un Pool de Recursos designado [21].

## **2.2 Requisitos de un VDC**

Antes de diseñar un Centro de Datos virtual es necesario pasar por una etapa de planeación en la que se identifiquen las necesidades que debería satisfacer un VDC.

### **2.2.1 Requisitos generales**

Para el presente trabajo es necesario marcar un objetivo que cumplirá el VDC al final de su diseño, de manera general es necesario que este sistema sea capaz de manejar una cantidad alta de tráfico de datos, tenga un almacenamiento suficiente para guardar los datos de una empresa pequeña, con una rápida conectividad tanto entre equipos como con el exterior, utilizando el mínimo de equipos físicos posible, finalmente debe contar con todos los requerimientos de seguridad, disponibilidad y de administración de servicios.

### **2.2.2 Requisitos de la topología física**

Para el presente trabajo siguiendo las recomendaciones mencionadas en el capítulo 2.1.1.

Los racks en los que se ubican los equipos son necesarios al igual que en el diseño de un Centro de Datos tradicional, con la ventaja de que, dependiendo del tamaño del VDC, un solo rack puede ser necesario en la topología física.

La distribución de equipos de un VDC está dada por zonas, cada zona es representada por un rack en el que se encuentran los equipos que contienen las MV y se conectan entre sí a través de Top of the Rack Switches (ToR Switches) [27].

Cada equipo físico llevará un ESXi dentro del cual se alojan hasta 5 MV para diferentes procesos como el de un servidor, equipos de switching o routing.

Estos equipos deben contar con el mínimo de requerimientos para soportar los sistemas ESXi 6.5.

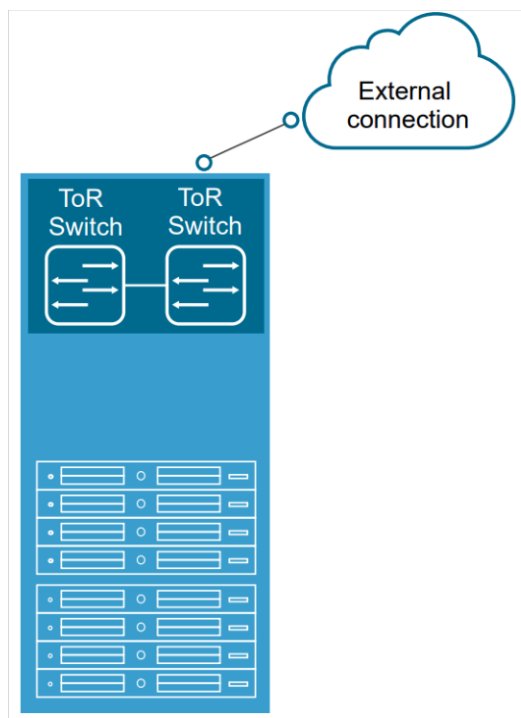
Entre los requerimientos se tienen:

- Un host con al menos dos núcleos de CPU [28].
- Un procesador x86 de 64 bits lanzado al mercado posterior al año 2006 [28].
- Un sistema BIOS capaz de administrar el sistema de bits ND/XD [28].
- Una memoria RAM de al menos 4 GB, pero recomendado de 8 GB [28].
- Una conexión ethernet de alta velocidad.

- Almacenamiento suficiente y de alta velocidad de lectura y escritura, se especifica de mejor manera en el capítulo 2.2.5.

Aunque la mayoría del procesamiento de tráfico se realizará de manera virtual en el interior de las MV es necesario contar con equipos de switching que conecten los equipos físicos entre sí [29].

En la topología física de un VDC se cuentan con equipos que contienen las MV y con ToR switches para interconectar las máquinas físicas entre sí, ubicados dentro de un armario Rack como se muestra en la Figura 2.6.



**Figura 2.6.** Una zona física de un VDC [29].

La configuración de los ToR switches puede variar según la necesidad del VDC, pero existen unas recomendaciones para mantener las normas de buenas prácticas.

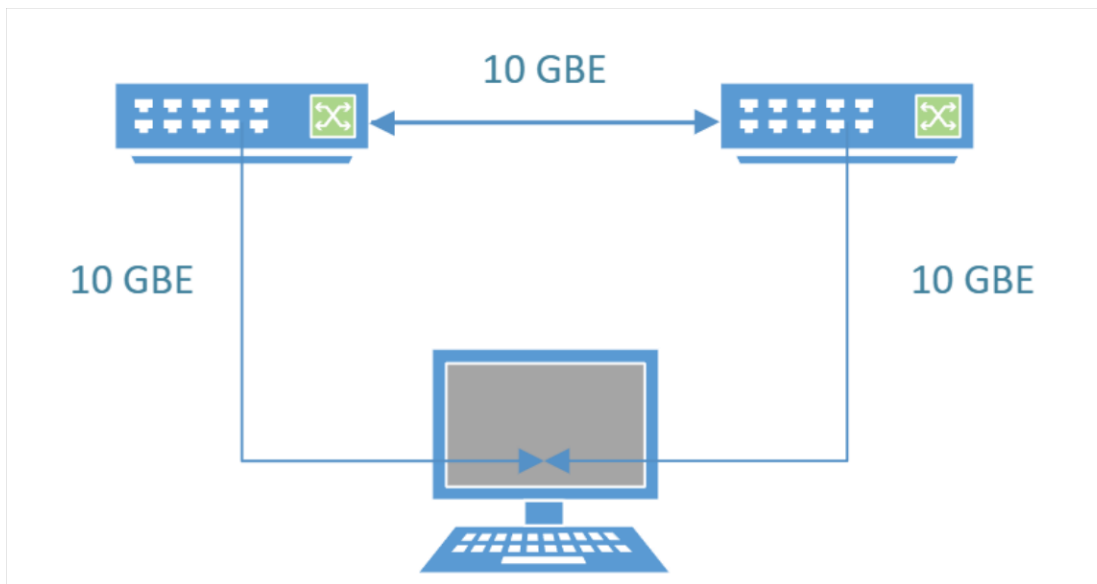
- Configurar switches físicos redundantes para mejorar la disponibilidad [29].
- Configurar manualmente los puertos de conmutación que se conectan a los hosts ESXi como puertos troncales. Los conmutadores virtuales son dispositivos pasivos y no admiten protocolos troncales [29].
- Modificar el protocolo Spanning Tree Protocol (STP) en cualquier puerto que esté conectado a una NIC ESXi para reducir el tiempo que tardan los puertos en pasar al estado de reenvío [29].

- Configurar protocolo DHCP en todas las VLAN utilizadas, para asignar direcciones IP basadas en la subred IP en uso [29].
- Configurar tramas jumbo en todos los puertos de conmutación, enlaces entre conmutadores (inter-switch link ISL) e interfaces virtuales conmutadas (switched virtual interfaces SVI) [29].

Cada host ESX se conecta de forma redundante a los ToR switches de la estructura de red utilizando puertos de al menos 10 GbE.

Se deben tener conexiones redundantes para garantizar que no se sobre cargue ninguna interfaz física y que se utilicen rutas redundantes siempre que estén disponibles [29].

La Figura 2.7 muestra la conexión de un host ESX hacia los ToR switches.



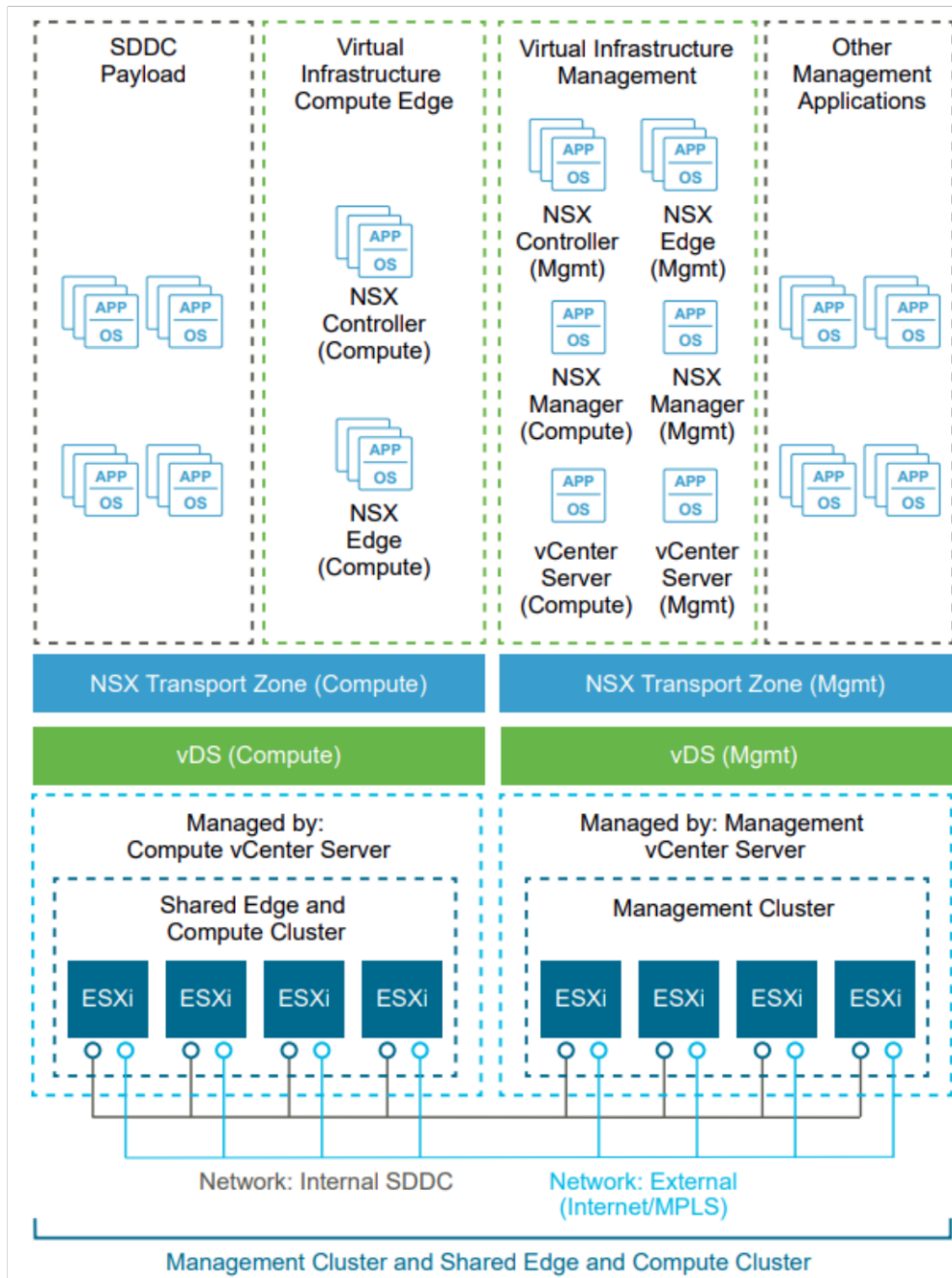
**Figura 2.7.** Conexión host ESX hacia ToR switches.

### 2.2.3 Requisitos de la arquitectura virtual de un VDC

El diseño de la infraestructura virtual incluye los componentes de software que conforman la capa de infraestructura virtual para proporcionar almacenamiento, redes y computación definidos por software [30].

La infraestructura virtual de un VDC consta de dos regiones. Cada región contiene el clúster de gestión, y un dominio de carga de trabajo de infraestructura virtual que contiene la frontera compartida o shared edge y el clúster informático [30].

La Figura 2.8 muestra un ejemplo de la interfaz virtual para un VDC.



**Figura 2.8.** Topología lógica de un VDC [29].

La Figura 2.8 muestra un ejemplo utilizando software propietario de VMware.

El programa NSX de VMware representa la plataforma de virtualización y seguridad de redes que permite la implementación de la solución de redes en la nube de VMware, esa es la solución de redes definidas por software que se extiende por los centros de datos, las nubes y los marcos de aplicaciones [31].

El ESXi es la solución de ESX propietaria de VMware y es actualmente el hipervisor para MV más utilizado. En el presente trabajo se empleará esta solución y el diseño presentado en el capítulo 2.3 utiliza ESXi para el diseño del VDC [32].

#### 2.2.4 Requisitos de la arquitectura de red de un VDC

La arquitectura de red virtual que emplea el VDC debe cumplir con los siguientes objetivos de diseño:

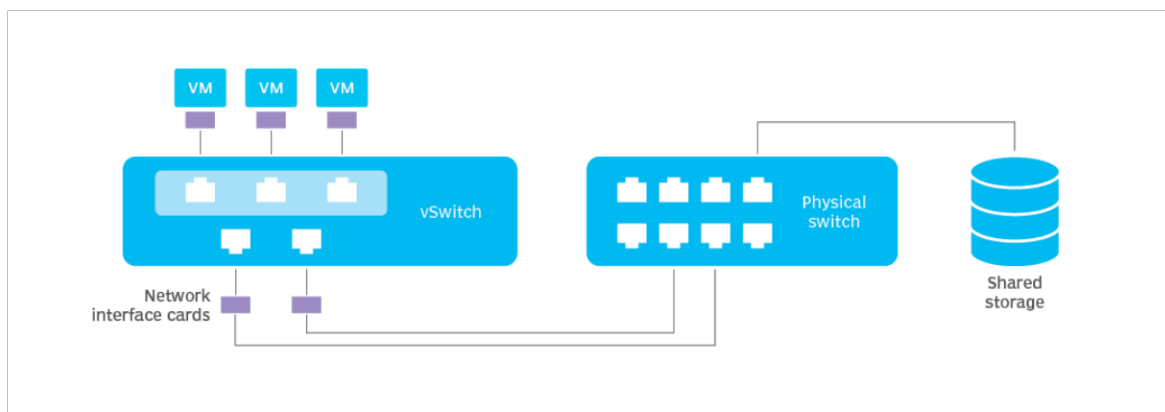
- La red debe satisfacer las diversas necesidades de una organización. Como aplicaciones, servicios, almacenamiento, administradores y usuarios.
- Reducir costes. Se desea un diseño de red eficiente que permita reducir los costos del sistema, por ejemplo, el disminuir el número de puertos de red y NIC necesarios ya cuenta como reducción de costes.
- Mejorar el rendimiento. Proporcionando suficiente ancho de banda es posible mejorar el rendimiento y reducir el tiempo necesario para realizar mantenimientos.
- Una red bien diseñada mantiene la red disponible el mayor tiempo posible, esto suele conseguirse normalmente proporcionando redundancia de red.
- Con un buen diseño de red se obtiene un nivel de seguridad aceptable mediante el control de acceso.

**Switches Virtuales:** Los switches virtuales simplifican el proceso de configuración al proporcionar un único panel para realizar las tareas de gestión de la red virtual [29].

Un switch virtual (vSwitch) es un software que permite a un conjunto de MV comunicarse entre sí. Los switches virtuales también se utilizan para establecer conexiones entre redes virtuales y físicas y para transportar el tráfico de una máquina virtual a otras máquinas virtuales o a una red física [33].

La Figura 2.9 muestra un diagrama de cómo funciona de forma simple un switch virtual.





**Figura 2.9.** Funcionamiento de un switch virtual [33].

Los switches virtuales se conectan a una MV de forma similar a como un switch se conecta a un equipo físico. Las máquinas virtuales utilizan switches virtuales y adaptadores de red virtuales para conectarse a redes físicas [33].

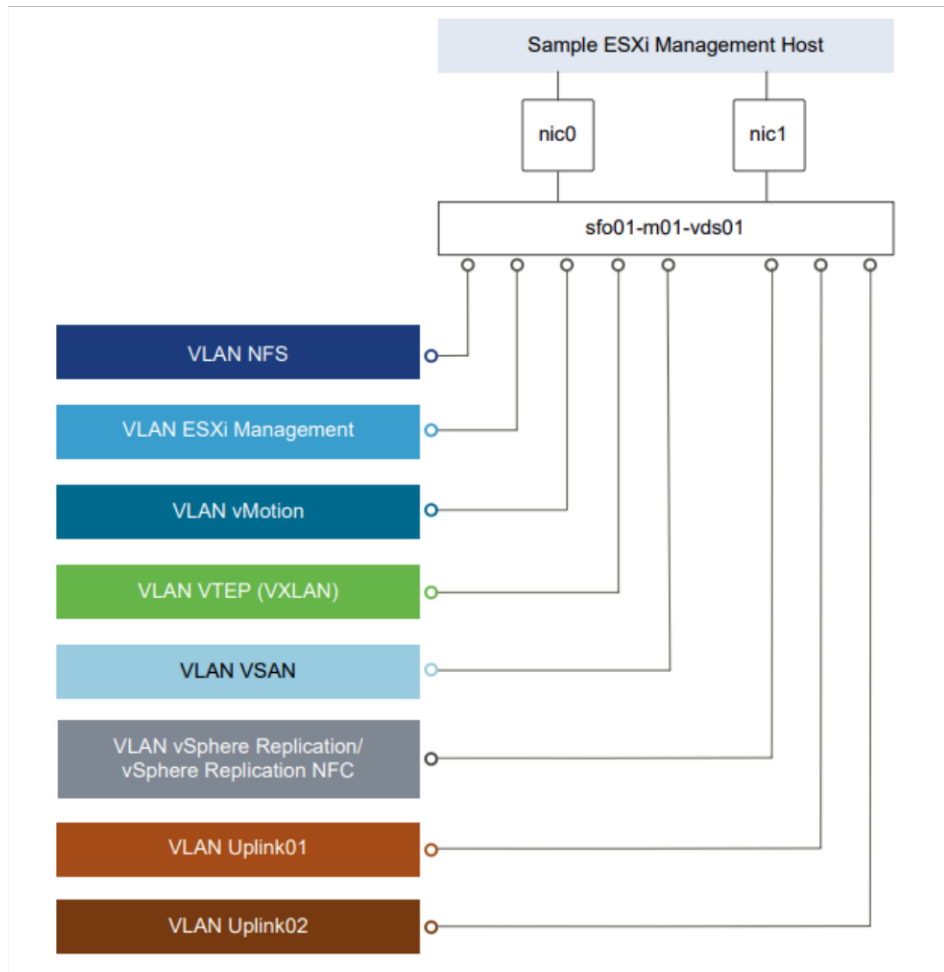
Un switch virtual detecta qué máquinas virtuales están conectadas lógicamente a sus puertos virtuales y reenvía el tráfico de red a la MV [33].

La red virtual debe contar con Vlans propias manejadas por switches virtuales dentro de cada clúster de MVs.

Las Vlans ayudan a separar el tráfico que corre por la red y el hipervisor ESXi permite la administración de estos recursos de manera más sencilla con ayuda de sus protocolos propios [32].

- Administración del ESXi [32].
- Almacenamiento de red ip (NFS) [32].
- Virtual Storage Area Network (vSAN) [32].
- Procesador de payload [32].
- VXLAN Tunnel Endpoint (VTEP) [32].
- Enlaces de subida para ECMP [32].

La Figura 2.10 muestra una recomendación de las VLAN utilizadas en la administración de la red virtual utilizando ESXi.



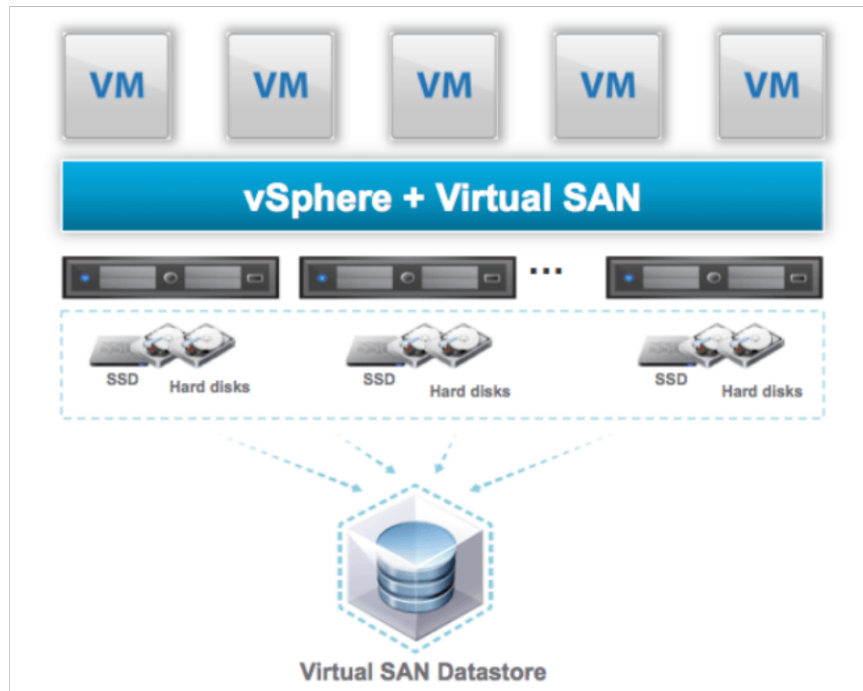
**Figura 2.10.** Diseño de Vlan para la gestión de hosts ESXi [29].

### 2.2.5 Requisitos de almacenamiento de un VDC

El almacenamiento de datos puede tener diferentes arquitecturas con requisitos diferentes para cada situación de uso, además del hardware que requiere el almacenamiento de un VDC es necesario utilizar un software gestor del almacenamiento virtual [34].

VMware vSAN es una solución de hiper convergencia que permite montar un Datastore accesible para cada sistema ESXi en el sistema. VMware vSAN es parte del código embebido del ESXi [35].

VMware vSAN utiliza los discos físicos de cada servidor ESXi para formar un storage area network virtual, tal como se muestra en la Figura 2.11.



**Figura 2.11.** Funcionamiento de vSAN [35].

Implementar el servicio de vSAN tiene los siguientes requisitos:

- Al menos 3 equipos con ESXi dentro del clúster [36].
- La memoria mínima para cada host es de 512 GB [36].
- 1 milisegundo de retraso máximo entre todos los hosts dentro del clúster [36].
- Todos los clústeres deben estar conectados por equipos de capa dos o capa 3 [36].
- 10 Gbps dedicados de ancho de banda entre hosts [36].
- Tener una licencia activa de vSAN a cada CPU activo en el sistema [37].

Además, existen ciertas recomendaciones para el diseño del SAN virtual, como:

- Tener configuraciones uniformes del ESXi [38].
- Cumplir con la redundancia recomendada para el VDC [38].
- Tener un ancho de banda superior a 25 Gbps [38].

## 2.2.6 Requisitos para la administración del VDC

La administración del VDC, junto al monitoreo de la red y la seguridad de esta tiene varios requisitos que deben cumplirse antes del diseño del VDC.

**Monitoreo de red:** Para el monitoreo de red, así como la implementación de control de calidad (QoS) es posible utilizar el servicio Network I/O Control disponible con el entorno vSphere de VMware y compatible con el servicio ESXi [39].

Network I/O Control permite garantizar un ancho de banda mínimo en el adaptador físico destinado a vSAN. Una limitación de las reservas en Network I/O Control es que el ancho de banda reservado y no utilizado no puede ser asignado al tráfico de la máquina virtual, además, la suma total del ancho de banda reservado de todo el sistema no puede exceder el 75 % del ancho de banda del adaptador de red físico de menor capacidad [39].

La configuración de recursos compartidos establece un ancho de banda disponible para vSAN cuando el adaptador físico alcanza su capacidad máxima, esto previene que el equipo sature toda la capacidad del adaptador físico durante operaciones críticas como reconstrucciones y sincronizaciones [39].

El requisito básico para utilizar Network I/O Control es utilizar todo el entorno vSphere de VMware con el que se tiene acceso a la interfaz que se muestra a continuación en la Figura 2.12.

The screenshot displays the vSphere Client interface for configuring Network I/O Control on a Distributed Switch (DSwitch). The interface is divided into several sections:

- Left Navigation Pane:** Shows the hierarchy: Datacenter > Management Network > VM Network > DSwitch.
- Top Bar:** Includes the vSphere Client title, search bar, and user information (Administrator@VSPHERE.LOCAL).
- Configuration Area:** Contains the following settings:
  - Settings:** Properties (0 Gbit/s), Topology (7.50 Gbit/s, 10.00 Gbit/s), LACP, Private VLAN, NetFlow, Port Mirroring, Health Check.
  - Resource Allocation:** System traffic, Network resource p...
  - More:** Alarm Definitions.
  - Network I/O Control:** Enabled, Version 3, Physical network adapters 8, Minimum link speed 10 Gbit/s.
  - Capacity Summary:** Total bandwidth capacity: 10.00 Gbit/s; Maximum reservation allowed: 7.50 Gbit/s; Configured reservation: 0.00 Gbit/s; Available bandwidth: 10.00 Gbit/s.
- Traffic Type Table:** A table listing various traffic types with their respective shares, reservation, and limits.

Traffic Type	Shares	Shares Value	Reservation	Limit
Management Traffic	Normal	50	0 Mbit/s	Unlimited
Fault Tolerance (FT) Traffic	Normal	50	0 Mbit/s	Unlimited
vMotion Traffic	Normal	50	0 Mbit/s	Unlimited
Virtual Machine Traffic	High	100	0 Mbit/s	Unlimited
iSCSI Traffic	Normal	50	0 Mbit/s	Unlimited
NFS Traffic	Normal	50	0 Mbit/s	Unlimited
vSphere Replication (VR) Traffic	Normal	50	0 Mbit/s	Unlimited
vSAN Traffic	High	100	0 Mbit/s	Unlimited

Figura 2.12. Interfaz de Network I/O Control [39].

**Seguridad del sistema:** La protección y respaldo de datos es un aspecto importante en la continuidad ininterrumpida de un VDC.

Es importante desarrollar una estrategia de protección de datos para los componentes de gestión para garantizar la funcionalidad ininterrumpida del VDC en caso de que los datos de una aplicación de gestión se vean comprometidos [29].

La aplicación de medidas de copia de seguridad o backups sirve para proteger los datos de la organización frente a riesgos potenciales como la pérdida de datos, fallos de hardware, eliminaciones accidentales u otros fallos [29].

Los requisitos básicos para tener una protección y respaldo de datos en el contexto del presente trabajo son los siguientes:

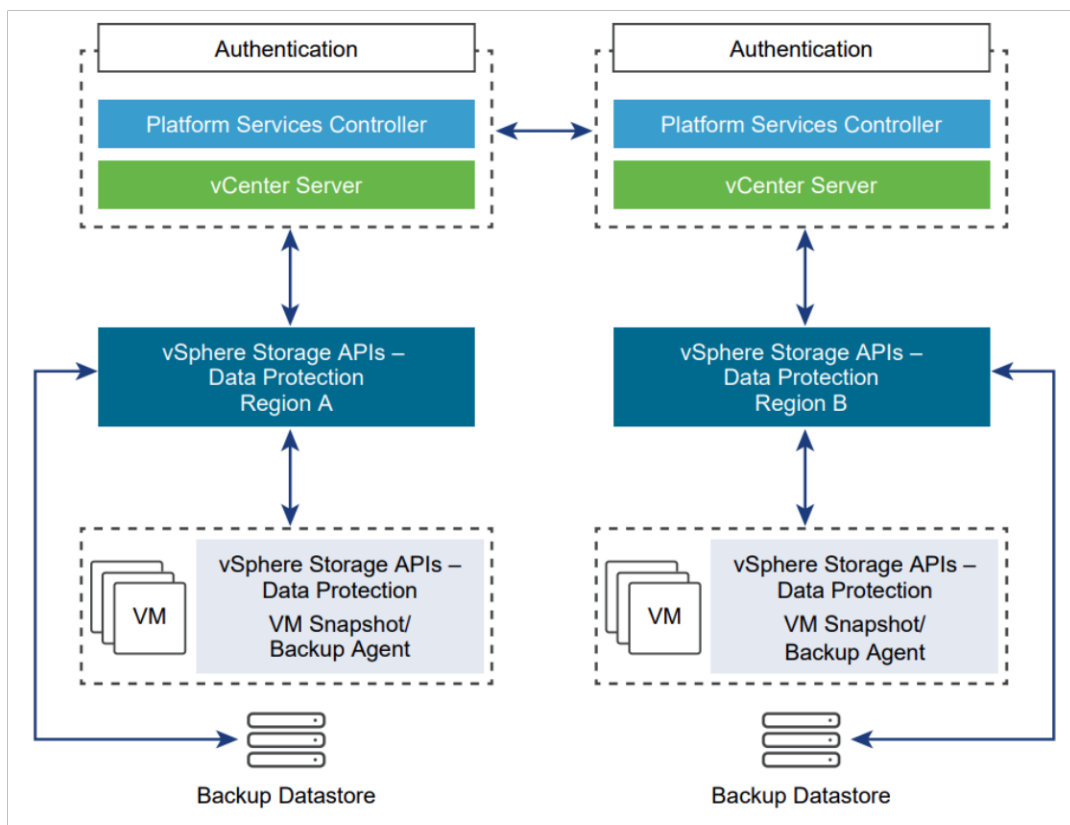
- Compatibilidad entre el software de seguridad con sistemas ESXi y con el software de administración Management vCenter Server [29].
- Detectar automáticamente las MV que requieran backup [40].
- El espacio de almacenamiento para los backups debe ser mínimo 12 TB, pero este debe ser dimensionado apropiadamente según el número de máquinas virtuales que tenga el clúster [40].
- El sistema debe ser capaz de retener los backups el tiempo suficiente para que el equipo de TI decida si deben ser eliminados o realizar una copia fuera del sistema VDC [40].

Un sistema que cumple con estos requisitos es el Virtual Disk API.

La Virtual Disk API (VDAP) de VMware proporciona una interfaz de programación para realizar diversas operaciones en discos virtuales, estas operaciones pueden ser la eliminación, modificación y creación de discos. Esta API permite a los desarrolladores y administradores de sistemas tener control sobre los discos virtuales en máquinas virtuales alojadas en entornos ESXi [40].

Las soluciones de copia de seguridad compatibles con VDAP protegen la infraestructura virtual a nivel de vCenter Server. Dado que la solución de copia de seguridad compatible con VDAP está conectada al vCenter Server de gestión, puede acceder a todos los hosts ESXi de gestión y detectar las máquinas virtuales que requieren copias de seguridad [40].

La Figura 2.13 muestra el diseño lógico de la protección de datos utilizando VDAP.



**Figura 2.13.** Funcionamiento de la protección de datos en VDAP [29].

El flujo de datos general para el respaldo con VDAP implica los siguientes pasos:

- **Configuración del backup:** Los administradores configuran políticas de respaldo dentro de la interfaz de VDAP, el horario de respaldo, las políticas de retención y otras configuraciones relevantes [41].
- **Inicialización del backup:** VDAP inicia el proceso de respaldo según las políticas configuradas. Esto implica la identificación de las máquinas virtuales a respaldar y la creación de trabajos de respaldo [41].
- **Creación de snapshots:** VDAP utiliza instantáneas o snapshots de VMware para capturar el estado de las máquinas virtuales en un momento específico. Estas instantáneas permiten respaldos consistentes sin interrumpir las operaciones en curso de las máquinas virtuales [41].
- **Transferencia de datos:** Los datos de las instantáneas se transfieren de las máquinas virtuales al VDAP. Esto implica copiar los bloques de datos que han cambiado desde el último respaldo [41].

- **Almacenamiento del backup:** Los datos transferidos se almacenan en formato no duplicado en el almacenamiento de respaldo. Esto ayuda a optimizar el espacio de almacenamiento eliminando datos redundantes [41].
- **Catálogo de respaldo:** VDAP mantiene un catálogo de los trabajos de respaldo, las MV y los puntos de backup. Este catálogo sirve para administrar y restaurar eficientemente los respaldos [41].
- **Backups futuros:** Para respaldos posteriores, VDAP realiza respaldos incrementales capturando solo los cambios realizados en las máquinas virtuales desde el último respaldo. Esto ayuda a reducir los tiempos de respaldo y los requisitos de almacenamiento [41].
- **Proceso de Restauración:** En caso de pérdida de datos o necesidad de recuperar una máquina virtual, los administradores pueden utilizar la interfaz de VDAP para iniciar el proceso de restauración. Esto implica seleccionar el punto de respaldo deseado y restaurar la máquina virtual a ese estado [41].

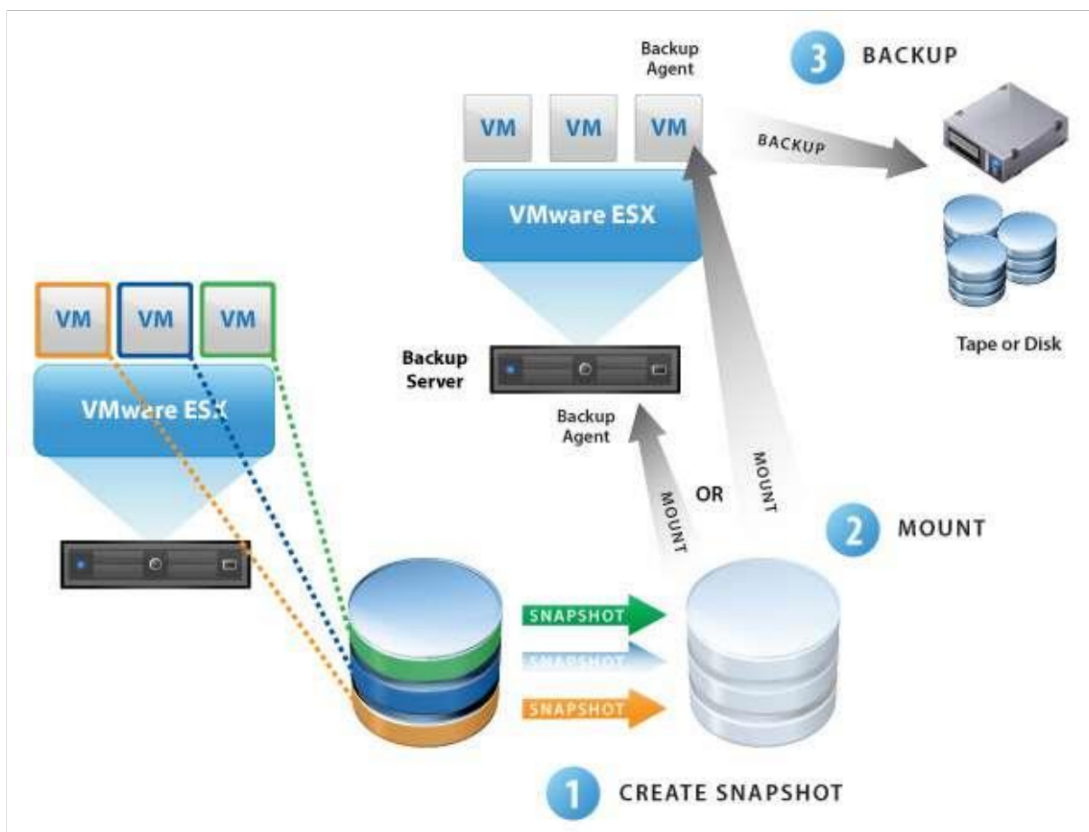


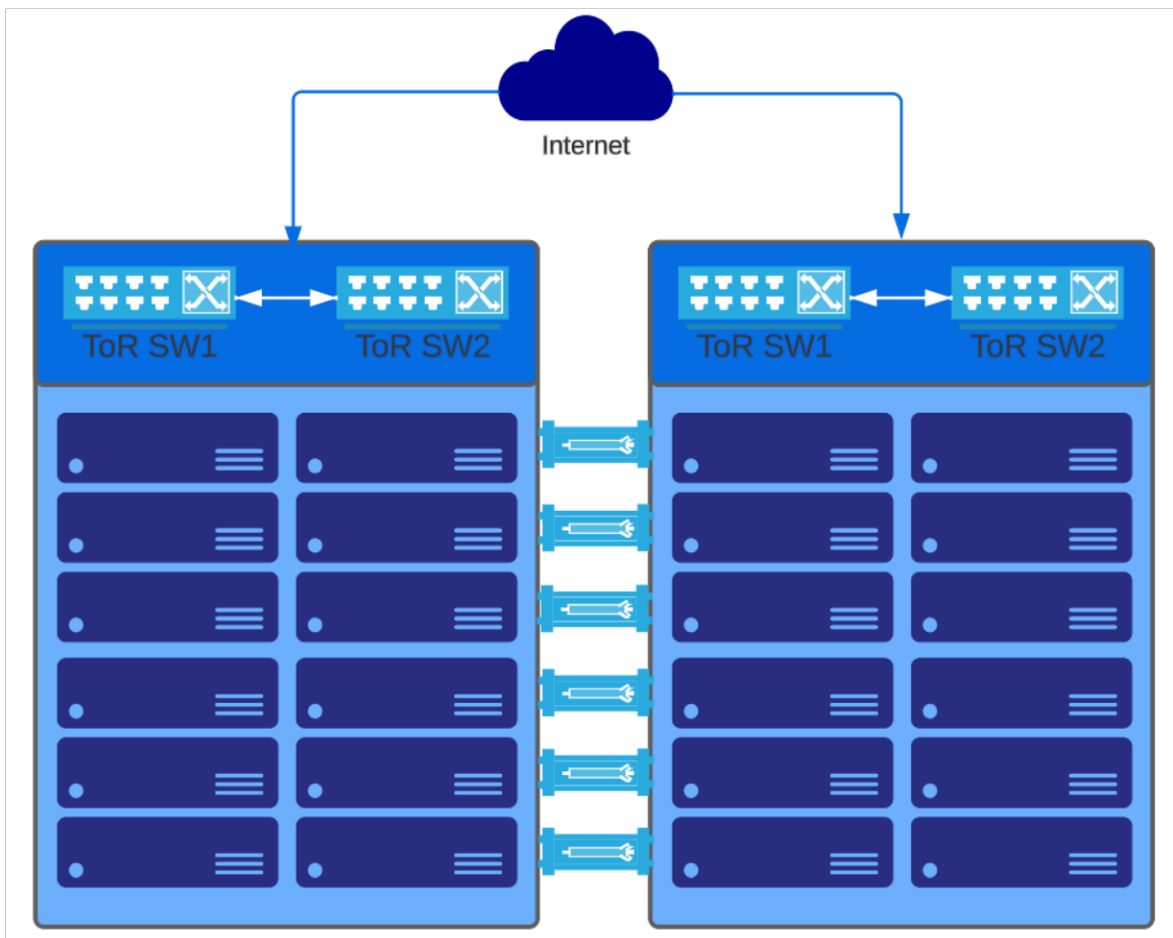
Figura 2.14. Flujo de datos para la copia de seguridad en VDAP [29].

## 2.3 Diseño de un VDC

A continuación, se presenta el diseño de un VDC el cual cuenta con la capacidad para dar el servicio a una empresa u organización de tamaño mediano de acuerdo con lo mencionado en los capítulos 2.1 y 2.2.

### 2.3.1 Diseño de la topología física

La topología física se muestra en la Figura 2.15.



**Figura 2.14.** Diseño de la topología física del VDC.

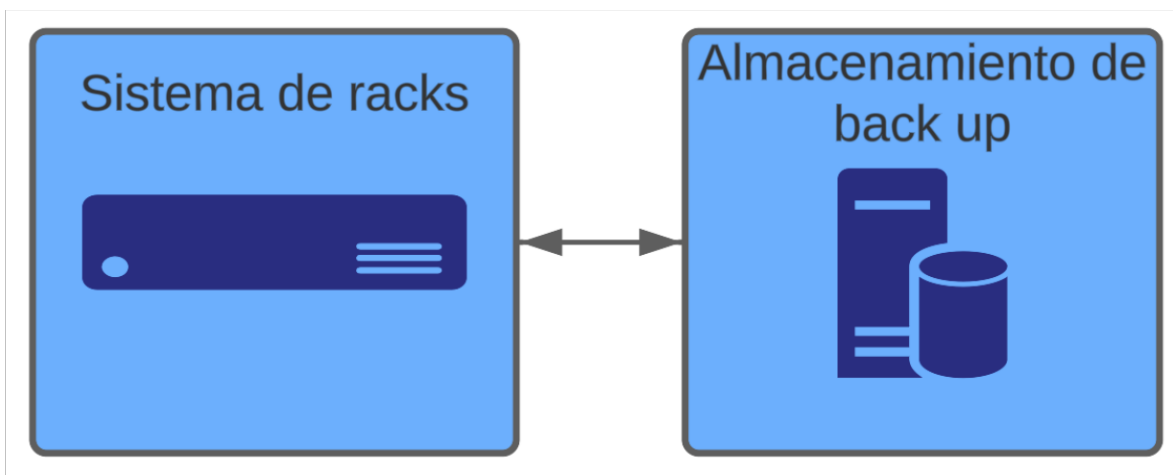
Como se muestra en la Figura 2.14 tenemos los siguientes componentes para la topología física:

- 2 armarios de equipos (racks)
- Dentro de cada rack se tienen 2 ToR switch con puertos 10 GE para cumplir con los requisitos de redundancia y ancho de banda.



- En cada rack hay 4 clústeres cada uno de 3 clientes ESXi.
- Existe conectividad completa dentro de cada rack y ambos están comunicados entre sí por un enlace de fibra óptica.
- Ambos Rack tienen una conexión empresarial a internet provista por un ISP de una organización tercera.

Finalmente, dentro de la parte física de un VDC es necesario tener los equipos de almacenamiento de backup conectada al sistema de racks como se muestra en la Figura 2.15, este sistema de respaldo se ha dimensionado con 24 TB de almacenamiento.



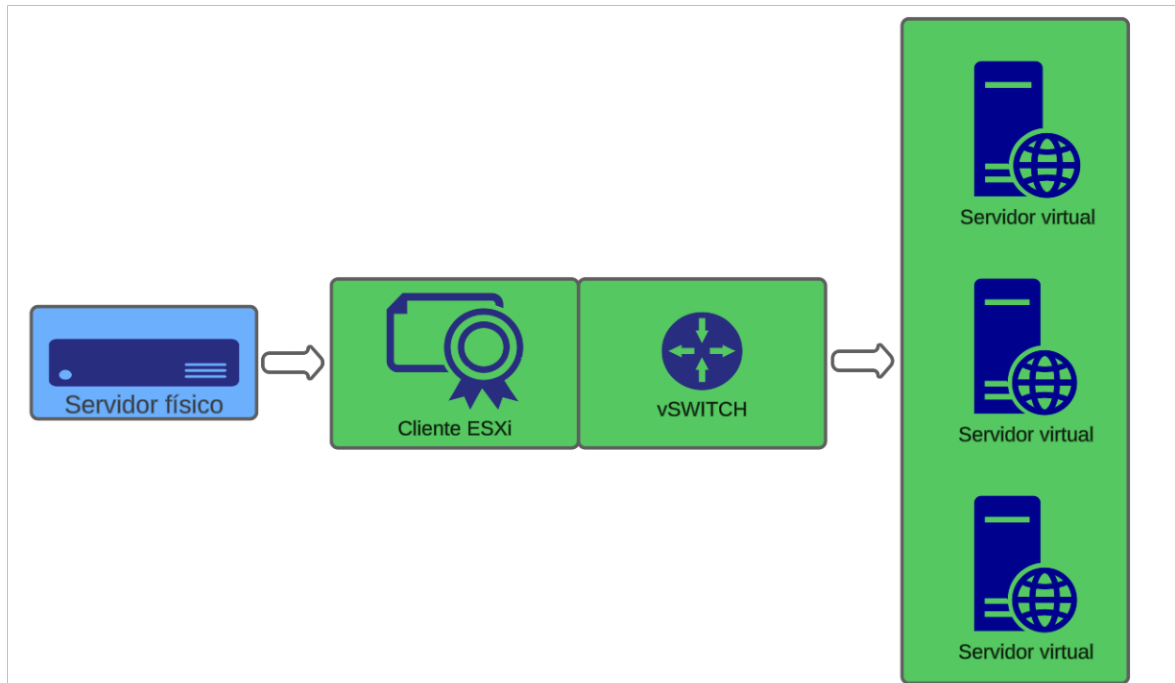
**Figura 2.15.** Diseño de la topología física del VDC.

### 2.3.2 Diseño virtual del VDC

Para el diseño de la virtualización de los equipos en el VDC se utiliza el hipervisor ESXi de VMware junto con el servicio de vSphere, este software de virtualización permite tener toda la red y administración de las que se habla en los capítulos 2.3.3 y 2.3.5 respectivamente.

Dentro de cada servidor físico se encuentra un cliente ESXi y a su vez, cada cliente ESXi tiene dentro 3 MV las cuales pueden ser utilizadas como: servidor, administrador, cliente de prueba, o software de red virtual. Las máquinas virtuales se encuentran conectadas entre sí por un vSwitch, el cual conecta cada directamente cada cliente ESXi dentro de un clúster.

En la Figura 2.16 se puede observar el diseño que se ha dado para la virtualización de los equipos en el presente trabajo, es posible tener varias MV dentro de un mismo ESXi y, además para cada clúster puede variar en el número de MV por servidor físico.



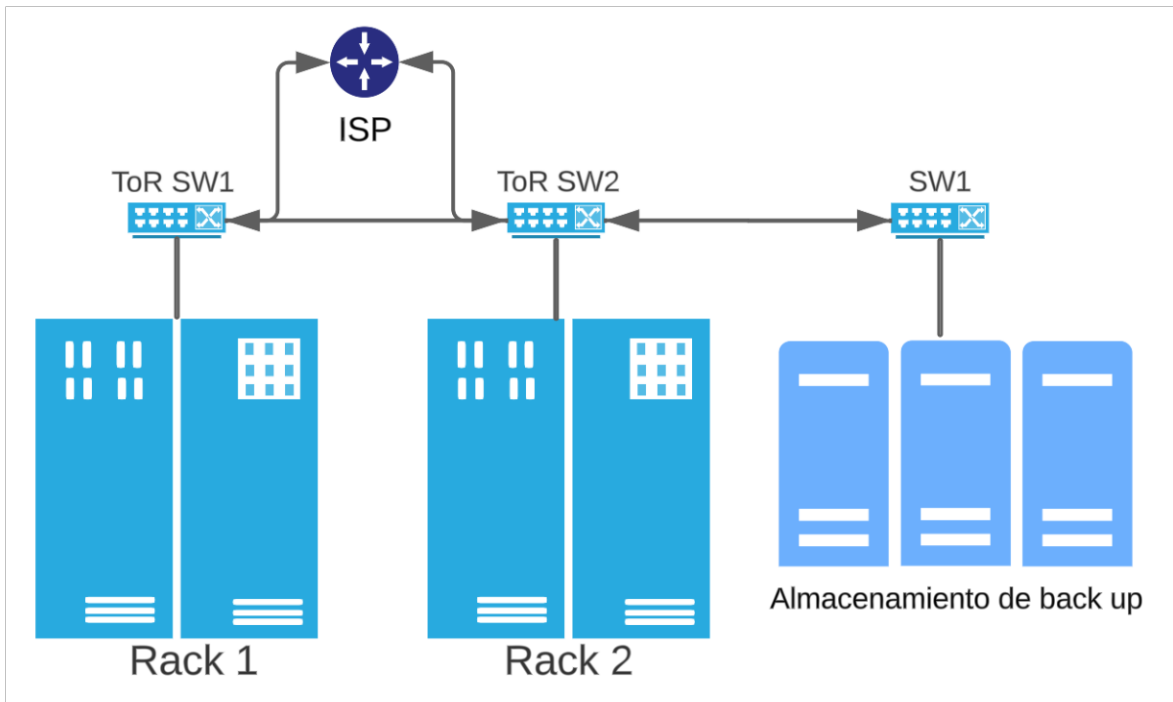
**Figura 2.16.** Diseño de la topología virtual del VDC.

### 2.3.3 Diseño de red

El diseño de la red en el VDC que se utiliza en el presente trabajo consta de dos partes importantes, la primera es la red física y la segunda es la red virtual.

Para la red física los requisitos fueron discutidos durante el capítulo 2.2.1 y al tratarse de un VDC el objetivo de la sección de la red física es tener el menor número de equipos y mantener una topología lo más sencilla posible para tener un mayor énfasis en la virtualización del Centro de Datos.

Por tanto, es necesario tener únicamente los equipos necesarios e indispensables. La topología lógica de la red física se muestra en la Figura 2.17.



**Figura 2.17.** Diseño de la topología física de la red VDC

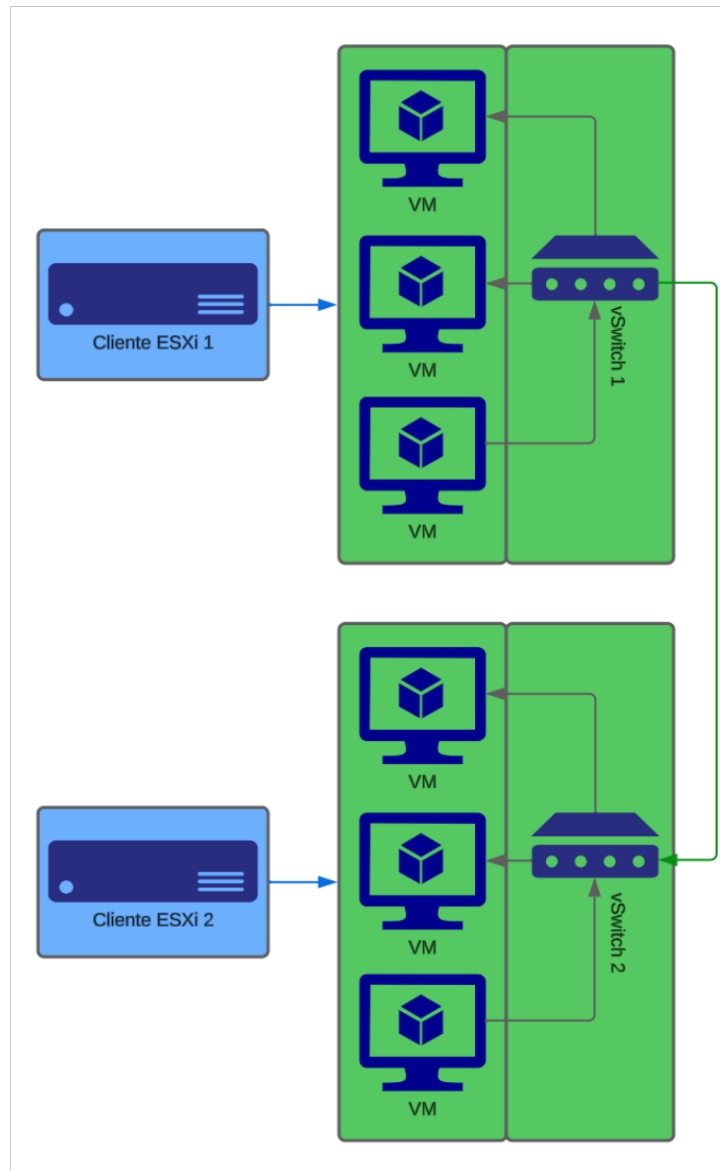
En la topología mostrada en la Figura 2.17 se muestran únicamente 3 switches, aunque en realidad existen 5, ya que en los Racks 1 y 2 tenemos 2 ToR SW para cumplir con la redundancia como se muestra en la Figura 2.14, estos equipos se encuentran conectados a los clientes ESXi dentro de los racks y al rack de servidores de almacenamiento backup.

Ambos ToR switches se encuentran conectados a la infraestructura de salida a internet provista por el ISP y la cual no se incluye en el diseño del presente trabajo.

La topología lógica de la red virtual se concentra en los vSwitch que conectan las MV en cada clúster.

Cada MV se conectan virtualmente por un vSwitch, cada vSwitch tiene un Gateway de salida a la red física y se comunica con diferentes clientes ESXi mediante el switch físico, pero gracias al software de virtualización vSphere la conexión entre vSwitches pasa por un túnel con lo que en la topología virtual es como si estuvieran conectados entre ellos.

La Figura 2.18 muestra el diseño de la red virtual del VDC.



**Figura 2.18.** Diseño de la topología virtual de la red VDC

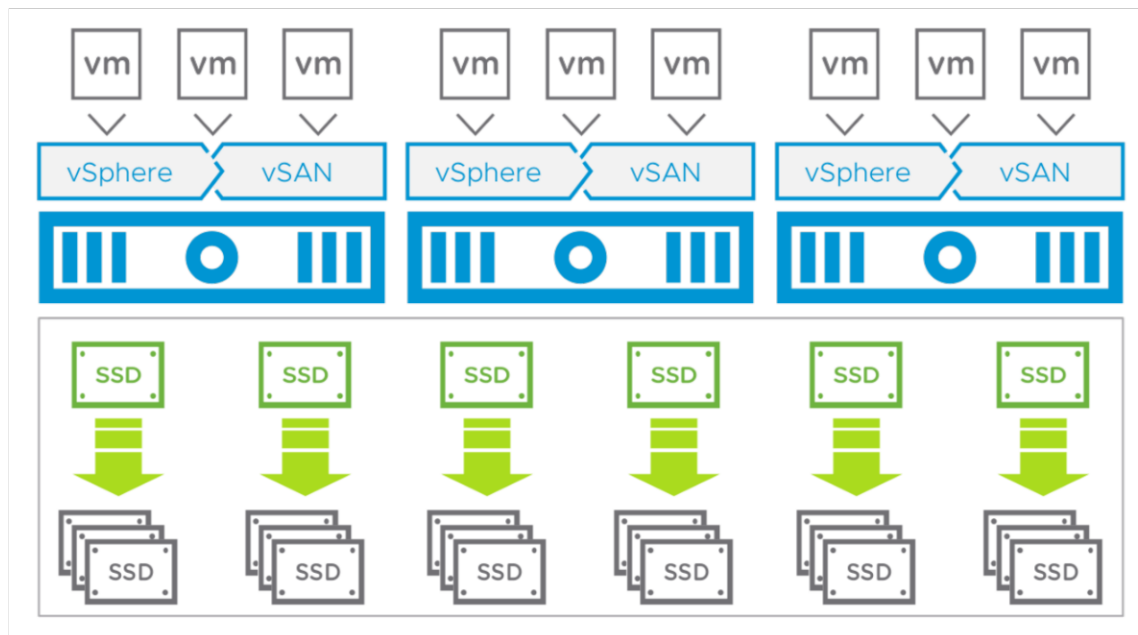
#### 2.3.4 Diseño de almacenamiento

El almacenamiento necesario para cada VM está dado por el espacio de almacenamiento de cada disco físico en los clientes ESXi, con la ayuda del software de almacenamiento vSAN, es posible crear una red de almacenamiento compartida entre todas las MV.

La capacidad de cada sistema ESXi es de 1024 GB, cada MV tiene un disco virtual de una capacidad de 200 GB y el restante del almacenamiento es administrado por el sistema vSAN, esto cumple con el requerimiento de dejar un 30% de la capacidad del disco libre para que vSAN no sobrecargue el almacenamiento. Cada equipo utiliza tarjetas físicas

flash PCIe de alta velocidad, aunque la alternativa de SSD con conexión SATA también es posible.

La Figura 2.19 muestra el funcionamiento de vSAN en el VDC, las tres MV dentro de cada cliente ESXi almacenan sus datos en los discos físicos del servidor y este con ayuda del software de virtualización vSphere y la conexión física de la red crea un espacio de almacenamiento compatible y accesible desde cualquier MV dentro del sistema.



**Figura 2.19.** Diseño del sistema de almacenamiento virtual en el VADC [42].

### 2.3.5 Diseño de administración del VDC

Para el servicio de administración del VDC es necesario reservar un clúster de sistemas ESXi libre, esto también ayuda con la redundancia necesaria para el diseño del VDC.

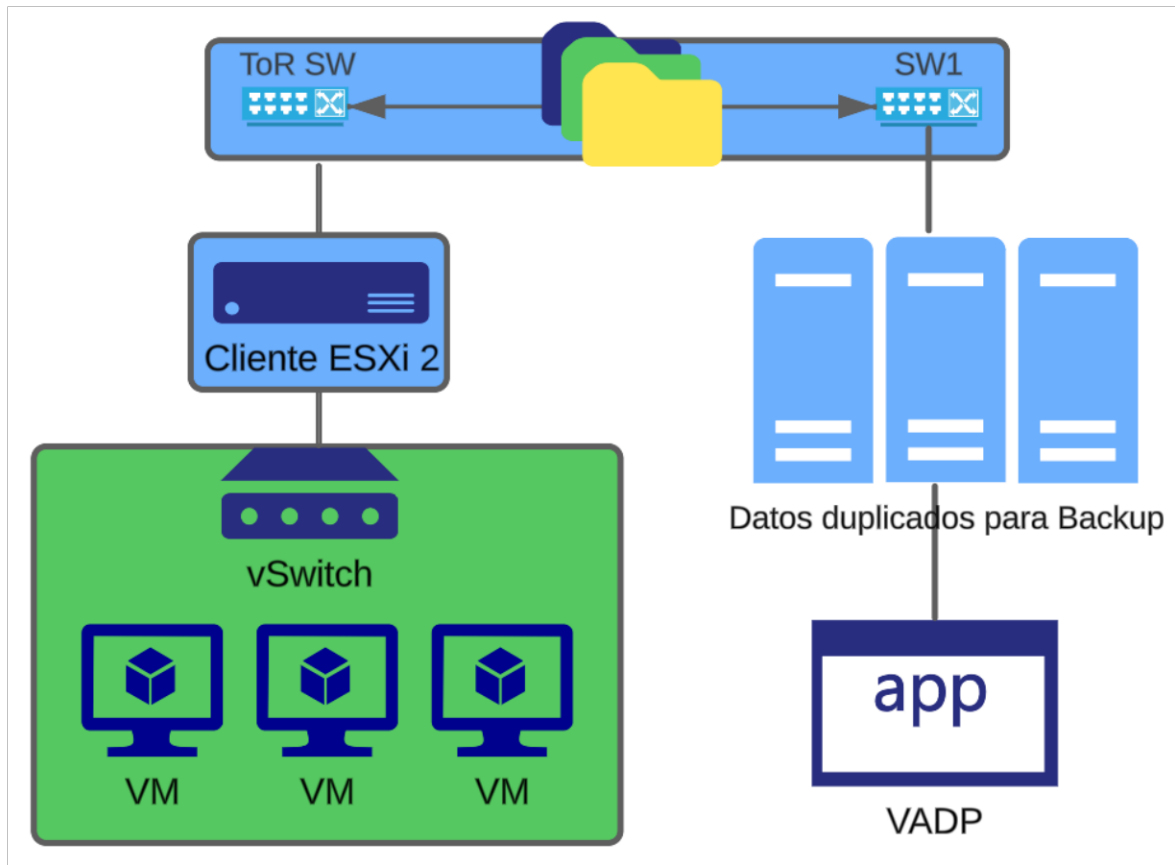
El plano de administración de toda la red virtual viene como parte del paquete de virtualización vSphere y permite manejar la configuración de cada sistema ESXi o de cada MV desde un solo equipo que puede ser remoto o encontrarse dentro de la red.

El control de tráfico es manejado por el software Network I/O Control compatible con vSphere y presente en cualquiera de los vSwitch utilizados durante el diseño de este VDC es necesario reservar un espacio del ancho de banda en cada interfaz física de los servidores ESXi.

Este servicio también incluye calidad de servicio y puede ser configurado desde el servidor de administración en cualquiera de las MV disponibles en el sistema.

Por otra parte, el software encargado de la protección de datos y los respaldos es el VADP.

En la Figura 2.20 se muestra el funcionamiento de VADP en el diseño de este trabajo.



**Figura 2.20.** Diseño del VADP en un Centro de Datos virtual.

## 2.4 Topología final

Durante el capítulo 2.3 se hablaron de las distintas topologías individuales en las que se ha realizado el diseño para conseguir el VDC actual, como resultado final se ha conseguido el diagrama completo del VDC presentado en la Figura 2.21.

La Figura 2.21 muestra una mezcla de las topologías físicas y virtuales del VDC en un diagrama completo con todos los elementos del sistema.

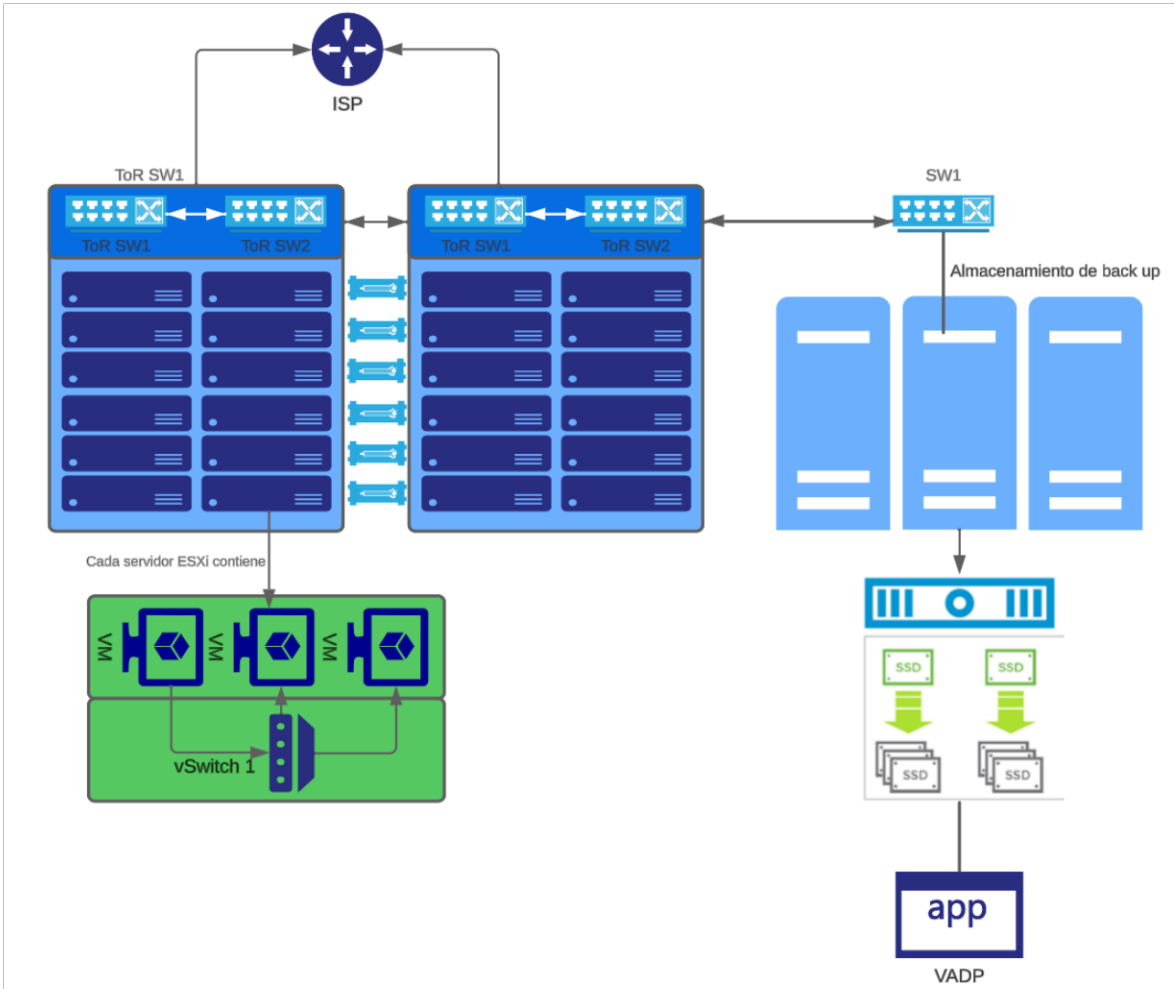


Figura 2.21. Diseño final del VDC

## 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.1 Resultados

Durante este capítulo se discutirá los resultados conseguidos después de la recopilación de datos obtenida sobre el diseño de un VDC durante el capítulo 2.

#### 3.1.1 Beneficios de la virtualización de un Centro de Datos

Existen varias soluciones al proceso de virtualización, incluso existen soluciones comerciales de centros de datos virtuales con toda una infraestructura detrás para cumplir con los requerimientos de un Centro de Datos tradicional incluso existe la posibilidad de crear una virtualización propia desde cero con lenguajes de programación como Python, sin embargo, desde un punto de vista práctico es preferible utilizar servicios ya existentes en el mercado.

Para el presente trabajo se utilizó el software de virtualización vSphere junto a una gran variedad de herramientas que proporciona la empresa VMware, la cual cumple con los requerimientos descritos durante el capítulo 2.

En cuanto a los beneficios que en teoría da un entorno virtual se puede asegurar que para la etapa de diseño y planificación de un VDC se cumplen sin problemas y discutiremos los principales a continuación:

- **Escalabilidad:** Al utilizar un hipervisor como ESXi es posible manejar varias máquinas virtuales al mismo tiempo, en el diseño se emplearon a penas 3 MV por sistema ESXi, pero de ser necesario el sistema es escalable hasta con 32 MV dentro de cada servidor físico, además el almacenamiento del sistema también es escalable al aumentar la memoria física de los servidores que contienen cada cliente ESXi y esta se puede realizar en caliente lo que significa que no se debe apagar el sistema para poder realizar estas modificaciones en la red.
- **Ahorro de costos:** Aunque en este modelo de Centro de Datos se tiene un coste extra por las licencias del software con el que funciona, el ahorro conseguido por la menor cantidad de equipos que se ocupa es de gran valor. Durante el diseño de este VDC se calcularon 24 servidores, 3 armarios rack y 3 switch de altas capacidades una cantidad de equipos muy inferior al que se necesitaría en un Centro de Datos tradicional, el cual para equiparar el nivel de prestaciones del VDC presentado requeriría de varios equipos de Switch más, así como equipos que



hagan las funciones de DMZ, firewall y de ruteo, todos estos equipos con un alto valor monetario.

- **Optimización de espacio:** El espacio ocupado por este VDC es pequeño, el diseño propuesto puede ocupar el tamaño de un cuarto pequeño, en donde con un diseño de Centro de Datos tradicional solo entraría una pequeña parte de la red, con esta propuesta de VDC se puede dar servicio a una empresa u organización de tamaño considerable.
- **Mejor recuperación de datos:** Gracias a que el diseño presentado utiliza software de almacenamiento vSAN junto a la administración del sistema vSphere, ambas compatibles entre sí, la recuperación de datos y el almacenamiento de back ups es sencillo, con una búsqueda rápida en el sistema es posible localizar archivos de back up importantes y extraerlos del sistema a un almacenamiento externo o recuperarlos hacia alguno de los clientes ESXi.

### 3.1.2 Proceso de diseño y arquitectura

Durante el diseño de la red se intentó alcanzar los objetivos propuestos al principio de este escrito, además de los requisitos acordados durante el capítulo 2.2, a falta de una implementación física se puede decir que el diseño alcanzó con todos los objetivos y se crearon algunas observaciones de las cuales se hablará en los capítulos 3.2 y 3.3.

El proceso de diseño y planificación durante este trabajo se llevó a cabo con la búsqueda de información por la red en un proceso bastante sencillo debido a la gran cantidad de información novedosa que existe sobre el tema, además durante la búsqueda de información se encontraron varias ofertas de servicio lo que es un indicativo de que, aunque todavía no sea una tecnología completamente adoptada por el mercado se encuentra tomando fuerza.

Para la implementación de este modelo de VDC sería necesario tomar en cuenta el aspecto económico el cual fue completamente omitido durante este trabajo, por otra parte, con las configuraciones correctas, la guía de este documento y demás manuales acerca de los diferentes equipos de software y hardware descritos durante el capítulo 2, se puede afirmar que es posible llevar este diseño a una implementación real.

## 3.2 Conclusiones

- Se puede concluir que existen varias opciones para diseñar un VDC, tanto para las partes de hardware, software y de administración, lo que da un abanico de posibilidades para el diseño muy amplias, el diseño presentado es una idea que cumple con los requisitos planteados durante la parte introductoria de este documento.
- Se concluye que para diseñar un VDC exitoso es necesario encontrar una combinación equilibrada de hardware, software y prácticas de gestión que garantizan la confiabilidad, la eficiencia y la adaptabilidad del Centro de Datos virtual.
- La comprensión profunda de estos equipos permite no solo su configuración y despliegue efectivos, sino también la capacidad de optimizar su rendimiento y garantizar la seguridad del entorno virtual. Además, el conocimiento de los equipos involucrados facilita la toma de decisiones informadas sobre actualizaciones tecnológicas, escalabilidad y mantenimiento preventivo, contribuyendo así a la eficiencia y confiabilidad del VDC en su conjunto.
- Se concluye que el proceso de diseño refleja la capacidad para integrar tecnologías emergentes y mejores prácticas en la gestión de recursos informáticos. Además, el diseño exitoso de un VDC proporciona a la organización la flexibilidad necesaria para adaptarse a cambios en las demandas del negocio y en el entorno tecnológico.
- Se puede concluir que haber diseñado un VDC implica haber creado un entorno que no solo cumple con las necesidades actuales de una organización, sino que también está preparado para enfrentar los desafíos futuros.
- Se puede concluir que, a pesar de que la virtualización sea el punto focal primario de un Centro de Datos Virtual, la dimensión física del hardware en el sistema conserva una importancia igualmente significativa en comparación con un diseño de Centro de Datos convencional. La atención y cuidado destinados a la infraestructura física no deben pasar desapercibidos, de manera que se garantice un rendimiento óptimo del VDC.

### 3.3 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar un solo tipo de software durante todo el diseño para evitar problemas de incompatibilidad entre las partes del VDC, aunque existe la posibilidad de tener varias opciones como pueden ser HyperVision o VMware lo recomendable es tener uno solo en toda la red.
- Se recomienda tomar en cuenta las capacidades del hardware para soportar la virtualización del sistema y no tener inconvenientes con la escalabilidad y la longevidad de los equipos utilizados en el VDC.
- Es aconsejable planificar el diseño del sistema de almacenamiento asegurándose de contar con la capacidad necesaria y, al mismo tiempo, reservar espacio adicional para permitir una posible expansión en el futuro. De esta manera, se busca optimizar el espacio de almacenamiento, manteniendo una holgura estratégica que permita adaptarse a crecimientos y cambios en las demandas de almacenamiento a lo largo del tiempo. Este enfoque garantiza que el sistema no solo cumpla con los requisitos actuales, sino que también esté preparado para evolucionar de manera eficiente en respuesta a las necesidades cambiantes de la organización.
- Es recomendable establecer claramente los requisitos y las necesidades del sistema desde las etapas iniciales del diseño con el fin de desarrollar un Centro de Datos Virtual eficiente, evitando el desperdicio de recursos. Al tener una comprensión precisa desde el principio, se busca garantizar que el VDC resultante cumpla con todos los objetivos planteados inicialmente.
- En caso de querer profundizar en este trabajo se recomienda empezar por el tema económico con una proyección de todos los equipos específicos empleados en el diseño del VDC y de esta manera poder comparar los aspectos económicos de un VDC y un Centro de Datos tradicional.
- Otro tema interesante para ampliar este tema sería profundizar en las diferentes herramientas que contiene VMware en su sistema de virtualización vSphere y como estas pueden mejorar la eficiencia del sistema dentro de un VDC.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HIXSA, “La automatización TI impulsada por Inteligencia artificial,” HIXSA Blog | Sobre el mercado de ITSM, RPA y Gestión documental, Feb. 26, 2019. <https://blog.hixsa.com/la-automatizacion-ti-impulsada-por-inteligencia-artificial/> (accessed Nov. 21, 2023).
- [2] StackScale, “¿Qué es un data center o Centro de Datos?” StackScale grupo aire | Sobre el mercado de ITSM, RPA y Gestión documental, Mar. 03, 2022. <https://www.stackscale.com/es/blog/que-es-un-centro-de-datos/> (accessed Nov. 21, 2023).
- [3] Check Point, “What is a Virtual Data Center?” | Centro cibernético, ciberseguridad, <https://www.checkpoint.com/es/cyber-hub/cyber-security/what-is-data-center/what-is-a-virtual-data-center/> (accessed Nov. 21, 2023).
- [4] Forbes AD, “What Is Virtualization? Definition, Benefits & Examples” by Belle Wong, Kiran Aditham. <https://www.forbes.com/advisor/business/software/what-is-virtualization/> (accessed Dec. 1, 2023).
- [5] “5 Benefits of Virtualization” <https://www.ibm.com/blog/5-benefits-of-virtualization/> <https://www.checkpoint.com/es/cyber-hub/cyber-security/what-is-data-center/what-is-a-virtual-data-center/> (accessed Dec. 1, 2023).
- [6] TechTarget, “How to design and build a data center” by Stephen J. Bigelow. <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/How-to-design-and-build-a-data-center> (accessed Dec. 3, 2023).
- [7] TechTarget, “How to design and build a data center” by Stephen J. Bigelow. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html> (accessed Dec. 3, 2023).
- [8] STL TECH, “Guide to Data Center Design”. [https://stl.tech/blog/guide-to-data-center-design/#Data\\_centre\\_design\\_best\\_practices](https://stl.tech/blog/guide-to-data-center-design/#Data_centre_design_best_practices) (accessed Dec. 3, 2023).

- [9] EtherPower, "Variables Ambientales y Seguridad Física dentro del DataCenter". <http://www.etherpower.net/cms/index.php/monitoreo-datacenter/> (accessed Dec. 3, 2023).
- [10] Nabiax, "Principales técnicas y sistemas de refrigeración en Centros de Datos". <https://nabiax.com/principales-tecnicas-y-sistemas-de-refrigeracion-en-centros-de-datos/> (accessed Dec. 3, 2023)
- [11] SISSA Monitoring, "Seguridad de Data Centers: medidas físicas y lógicas". <https://www.linkedin.com/pulse/seguridad-de-data-centers-medidas-f%C3%ADsicas-y-l%C3%B3gicas-sissam/> (accessed Dec. 3, 2023)
- [12] G2, "Data Center Design: Essential Components and Best Practices". <https://www.g2.com/articles/data-center-design> (accessed Dec. 3, 2023).
- [13] Route XP, " Basic Datacenter: Data Center Switching Layers Discussion". <https://www.routexp.com/2020/03/basic-datacenter-data-center-switching.html> (accessed Dec. 3, 2023)
- [14] FS, "How to Design Your Data Center Layout?". <https://community.fs.com/article/data-center-layout.html> (accessed Dec. 3, 2023).
- [15] IBM, " What is virtualization?". <https://www.ibm.com/topics/virtualization> (accessed Dec. 4, 2023)
- [16] Azure, "What is a virtual machine (VM)?". <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-a-virtual-machine/> (accessed Dec. 4, 2023)
- [17] Huawei, "What Is VDC?". <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/VDC.html> (accessed Dec. 4, 2023)
- [18] Cisco, "Software defined networking". [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Data\\_Center/VMDC/-SDN/SDN.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Data_Center/VMDC/-SDN/SDN.html) (accessed Dec. 4, 2023)
- [19] Tech In, "SDN Architecture". <https://tech.ginkos.in/2012/12/sdn-architecture.html> (accessed Dec. 4, 2023)

- [20] Huawei, "What Is VXLAN?". <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/VXLAN.html> (accessed Dec. 4, 2023)
- [21] VmWare, "VMware Infrastructure Architecture Overview". [https://www.vmware.com/pdf/vi\\_architecture\\_wp.pdf](https://www.vmware.com/pdf/vi_architecture_wp.pdf) (accessed Dec. 10, 2023)
- [22] Plural Sight "What is VMware ESXi Server and Why do I Need It?". <https://www.pluralsight.com/blog/it-ops/what-is-vmware-esx-server-and-why-you-need-it> (accessed Dec. 10, 2023)
- [23] IBM, "VMware vSphere". <https://www.ibm.com/docs/es/license-metric-tool?topic=connections-vmware-vsphere> (accessed Dec. 10, 2023)
- [24] Vanilla video, " Understanding SAN, NAS and DAS Storage Architecture & Get Started". <https://vanillavideo.com/articles/understanding-storage-san-nas-das/> (accessed Dec. 11, 2023)
- [25] VmWare, "What is Virtual Networking?". <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/virtual-networking.html> (accessed Dec. 11, 2023)
- [26] G2, "What Is Data Storage? Types, Trends, and Solutions ". <https://learn.g2.com/data-storage> (accessed Dec. 28, 2023)
- [27] TechTarget, "What is top-of-rack switching?". <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/top-of-rack-switching> (accessed Dec. 28, 2023)
- [28] VMware, "ESXi Hardware Requirements". <https://docs.vmware.com/en/VMware-vSphere/6.5/com.vmware.vsphere.install.doc/GUID-DEB8086A-306B-4239-BF76-E354679202FC.html> (accessed Dec. 28, 2023)
- [29] VmWare "Architecture and Design". <https://docs.vmware.com/en/VMware-Validated-Design/5.1/vmware-validated-design-51-sddc-architecture-design.pdf> (accessed Dec. 28, 2023)
- [30] FS, "Complete Guide to Software-Defined Data Center". <https://community.fs.com/article/complete-guide-to-software-defined-data-center.html> (accessed Dec. 29, 2023)

- [31] VMware, "VMware NSX datasheet".  
<https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/products/-nsx/vmware-nsx-datasheet.pdf> (accessed Dec. 29, 2023)
- [32] VMware, "¿Qué es VMware vSAN?".  
<https://www.vmware.com/es/products/vsan.html> (accessed Jan. 2, 2024)
- [33] TechTarget, "virtual switch (vSwitch)".  
<https://www.techtarget.com/searchitoperations/definition/virtual-switch> (accessed Jan. 2, 2024)
- [33] IBM, "Almacenamiento para virtualización de servidores y escritorios".  
<https://www.ibm.com/es-es/storage/virtualization> (accessed Jan. 2, 2024)
- [34] Virtualiza desde cero, "VMware vSAN: Qué es y Cómo funciona".  
<https://virtualizadesdezero.com/vmware-vsan-que-es-y-como-funciona/> (accessed Jan. 4, 2024)
- [35] VMware, "Requisitos de hardware para vSAN". <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSAN/index.html> (accessed Jan. 4, 2024)
- [36] VMware, "Requisitos de red para vSAN". <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSphere/8.0/vsan-planning/GUID-AFF133BC-F4B6-4753-815F-20D3D752D898.html> (accessed Jan. 7, 2024)
- [37] VMware, "Requisitos de licencia". <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSphere/8.0/vsan-planning/GUID-ED76D553-0AB5-44EC-BEB7-A054C5BAE7A3.html> (accessed Jan. 7, 2024)
- [38] VMware, "Consideraciones de diseño para un clúster de vSAN".  
<https://docs.vmware.com/es/VMware-vSphere/8.0/vsan-planning/GUID-57575456-0AD9-4655-9D6B-58509C1DF33C.html> (accessed Jan. 7, 2024)
- [39] VMware, "Network I/O Control". <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSphere/8.0/vsan-network-design-guide/GUID-6B00B437-53A3-4ACD-8CD7-AC9D0CE5BA8E.html> (accessed Jan. 7, 2024)

- [40] VMware, "Introduction to the Virtual Disk API".  
<https://developer.vmware.com/docs/16967/GUID-38D51D00-DFC7-4F40-B657-F23C5D42643A.html> (accessed Jan. 7, 2024)
- [41] VMware, "What's the data flow for the VDP backup".  
<https://communities.vmware.com/t5/vCenter-Server-Discussions/What-s-the-data-flow-for-the-VDP-backup/m-p/2134374> (accessed Jan. 7, 2024)
- [42] Mystic Martin, " vSAN Best Practices – Part I". <https://mysticmarvin.eu/vsan-best-practices-part-i/> (accessed Jan. 8, 2024)