



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Virtualización de un hipervisor de tipo 1 sobre un hipervisor
de tipo 2: implementación y optimización utilizando un
hardware limitado

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación

AUTOR/A: Velykodna, Sofiya

Tutor/a: Romero Martínez, José Oscar

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

NO PONER PORTADA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación
Universitat Politècnica de València
Edificio 4D. Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia
Tel. +34 96 387 71 90, ext. 77190
www.etsit.upv.es

VLC/
CAMPUS
VALENCIA, INTERNATIONAL
CAMPUS OF EXCELLENCE



Resumen

Este trabajo de fin de grado se centra en virtualizar un hipervisor de tipo 1 en uno de tipo 2, concretamente el Proxmox Virtual Environment, siendo este un entorno de virtualización de código abierto. A través de este estudio, se analizarán las funcionalidades y características del hipervisor utilizando un hardware de poca potencia con el fin de favorecer una utilización sostenible de la tecnología y reducir el consumo energético de la misma. Asimismo, se conseguirá reducir los costes económicos y facilitar la configuración en los servicios.

Se crearán máquinas virtuales y se interconectarán mediante diferentes configuraciones de redes virtuales. Además, desde este entorno virtualizado se conseguirá un acceso fluido a internet. Asimismo, para un monitoreo detallado de los recursos del servidor se implementará una plataforma con la que se conseguirá una evaluación completa del rendimiento.

Resum

Este treball de fi de grau se centra en virtualitzar un hipervisor de tipus 1 en un de tipus 2, concretament el Proxmox Virtual Environment, sent este un entorn de virtualització de codi obert. A través d'este estudi, s'analitzaran les funcionalitats i característiques del hipervisor utilitzant un maquinari de poca potència amb la finalitat d'afavorir una utilització sostenible de la tecnologia i reduir el consum energètic d'esta. Així mateix, s'aconseguirà reduir els costos econòmics i facilitar la configuració en els servicis.

Es crearan màquines virtuals i s'interconnectaran mitjançant diferents configuracions de xarxes virtuals. A més, des d'este entorn virtualizado s'aconseguirà un accés fluid a internet. Així mateix, per a un monitoratge detallat dels recursos del servidor s'implementarà una plataforma amb la qual s'aconseguirà una avaluació completa del rendiment.

Abstract

This final degree project focuses on virtualizing a type 1 hypervisor into a type 2 hypervisor, specifically the Proxmox Virtual Environment, this being an open source of virtualization environment. Through this study, the functionalities and characteristics of the hypervisor will be analyzed using low-power hardware, in order to promote sustainable use of the technology and reduce energy consumption. Likewise, it will be possible to reduce economic costs and facilitate the configuration of services. Virtual machines will be created and interconnected using different virtual network configurations. In addition, fluid access to the Internet will be achieved from this virtualized environment. Likewise, for detailed monitoring of server resources, a platform will be implemented to achieve a complete performance evaluation.

RESUMEN EJECUTIVO

La memoria del TFG del NOMBRE TÍTULO debe desarrollar en el texto los siguientes conceptos, debidamente justificados y discutidos, centrados en el ámbito de la NOMBRE DISCIPLINA

CONCEPT (ABET)	CONCEPTO (traducción)	¿Cumple? (S/N)	¿Dónde? (páginas)
1. IDENTIFY:	1. IDENTIFICAR:		
1.1. Problem statement and opportunity	1.1. Planteamiento del problema y oportunidad	si	2-5
1.2. Constraints (standards, codes, needs, requirements & specifications)	1.2. Toma en consideración de los condicionantes (normas técnicas y regulación, necesidades, requisitos y especificaciones)	si	5, 25, 27
1.3. Setting of goals	1.3. Establecimiento de objetivos	si	1
2. FORMULATE:	2. FORMULAR:		
2.1. Creative solution generation (analysis)	2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)	si	7-8, 13, 18-23, 26, 27
2.2. Evaluation of multiple solutions and decision-making (synthesis)	2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)	si	7-8, 10-11, 15-17, 18-23
3. SOLVE:	3. RESOLVER:		
3.1. Fulfilment of goals	3.1. Evaluación del cumplimiento de objetivos	si	19, 20, 23, 26, 28, 29
3.2. Overall impact and significance (contributions and practical recommendations)	3.2. Evaluación del impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)	si	2, 3, 29



Índice

Capítulo 1.	Introducción	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivo	1
Capítulo 2.	Introducción a la virtualización	2
2.1	¿Qué es la virtualización y como afecta a la sostenibilidad?	2
2.1.1	Virtualización vs modelo convencional	2
2.1.2	Seguridad de la red.....	3
2.1.3	Tipos de hipervisores	3
2.1.4	¿Por qué Proxmox?	4
2.2	Definición y origen de Proxmox	5
2.2.1	Definición.....	5
2.2.2	Historia	5
2.2.3	Hardware recomendado	5
Capítulo 3.	Instalación de Proxmox	7
3.1	Opciones de instalación.....	7
3.1.1	Equipo del cual dispongo	7
3.1.2	USB de arranque	7
3.1.3	Softwares de virtualización	8
3.2	VirtualBox y Proxmox	8
Capítulo 4.	VirtualBox	9
4.1	Gestión de memoria en VirtualBox	9
4.1.1	Memoria virtual.....	9
4.1.2	Memoria base	9
4.2	Adaptadores de red	9
4.2.1	Modos de red.....	10
4.2.2	Adaptadores del VirtualBox disponibles	12
Capítulo 5.	Instalación y configuración teórica de Proxmox	13
5.1	Virtualización de la máquina virtual Proxmox en VirtualBox	13
5.2	Distribución de memoria en Proxmox	14
5.3	Interfaz gráfica.....	14
5.4	Adaptadores de red en Proxmox.....	15



5.4.1	Modelos de configuraciones de red en Proxmox	15
Capítulo 6.	Configuración de la red en Proxmox	18
6.1	Acceso a Proxmox	18
6.1.1	Asignación de adaptadores en Proxmox	19
6.2	Máquinas virtuales.....	19
6.2.1	Instalación de las máquinas virtuales.....	19
6.2.2	Configuración de la red.....	20
6.2.3	Análisis de los resultados 1	20
6.3	Conexión al exterior desde las máquinas virtualizadas	21
6.3.1	Adaptador puente	21
6.3.2	Red NAT. Reenvío de puertos	21
6.3.3	Análisis de los resultados 2	23
Capítulo 7.	Monitorización de las gráficas	24
7.1	Métricas de Proxmox.....	24
7.2	Evaluación del rendimiento de las máquinas virtuales de Proxmox	25
7.2.1	Introducción al análisis de los resultados.....	25
7.2.2	Características del sistema operativo Ubuntu	25
7.2.3	Métricas de la máquina virtual Ubuntu de Proxmox	26
7.2.4	Características del sistema operativo Xubuntu	27
7.2.5	Métricas de la máquina virtual Xubuntu de Proxmox	27
7.2.6	Análisis de las diferencias claves entre Ubuntu y Xubuntu.....	28
Capítulo 8.	Conclusiones y propuesta para un futuro trabajo.....	29
Capítulo 9.	Bibliografía.	30



Capítulo 1. Introducción

1.1 Motivación

La virtualización está siendo fundamental para las empresas que buscan reducir la dependencia del hardware sin comprometer a la funcionalidad y la eficiencia. Sacar el máximo provecho de los ordenadores creando escenarios de escritorios seguros y con fácil accesibilidad vía web desde cualquier equipo.

Una de las principales ventajas de la virtualización en Proxmox VE es la capacidad de implementación de varios sistemas operativos y aplicaciones en el mismo servidor. Ofrece un acceso fácil que permite a los usuarios gestionar, monitorear y automatizar el trabajo.

Además, la virtualización en Proxmox permite de una manera sencilla gestionar las redes en el entorno virtualizado entre las diferentes máquinas. Posibilita la gestión de conexión con el exterior que tendrá el servidor, lo que es esencial para garantizar la seguridad y la privacidad de los datos, así como para facilitar la administración y el mantenimiento de la red.

1.2 Objetivo

En este trabajo de fin de grado se estudiarán las funcionalidades y las características de Proxmox Virtual Environment. El objetivo principal es analizar el rendimiento de Proxmox utilizando un hardware no muy potente. Se optará por un hipervisor de tipo 2 para su instalación e implementación. De esta forma consiguiendo maximizar el uso de los recursos de los que se dispone, tanto de CPU como de RAM.

Luego, la segunda parte de este trabajo tratará de creación de las máquinas virtuales y de la red virtual que las interconecte. La tercera parte consistirá en la conexión con el exterior y la obtención del acceso a internet desde el entorno virtualizado. Finalmente, poder monitorizar el rendimiento de la red virtual y de los recursos disponibles en Proxmox.

Capítulo 2. Introducción a la virtualización

2.1 ¿Qué es la virtualización y como afecta a la sostenibilidad?

La historia de la virtualización se entrelaza con la evolución de las necesidades sociales, los avances tecnológicos y su influencia en nuestra forma de trabajo. Lo que inicialmente fue una idea innovadora ha madurado hasta convertirse en una solución fundamental para la transformación digital [1].

La virtualización supera las dificultades que suponen los sistemas operativos: cada vez que el hardware hay que reemplazarlo, o no cumple con los requisitos de la aplicación, o simplemente faltan unidades de las computadoras. Anteriormente se necesitaba una instalación desde cero en un nuevo hardware que requería nuevos drivers. Nuevas configuraciones, migración de datos y periodo de pruebas. Lo que suponía dedicación, más tiempo y más gastos.

Con la virtualización, la instalación de todas las capas de software se hace una sola vez dentro de una máquina virtual. Asimismo, es posible la instalación de varias máquinas virtuales en un solo servidor donde podemos ejecutar múltiples sistemas independientes. Esto impulsa la transformación digital y proporciona la sostenibilidad en el ámbito tecnológico. La virtualización reduce la necesidad de hardware físico, lo que a su vez disminuye el consumo de energía y recurso, lo que contribuye a la reducción de emisiones de carbono y al impacto ambiental general. Además, al permitir una mejor utilización de los recursos de hardware disponibles, la virtualización ayuda a maximizar la vida útil de los equipos, reduciendo así la generación de residuos electrónicos.

La virtualización es una tecnología que cambia la forma en que utilizamos nuestros recursos informáticos al permitirnos crear ambientes virtuales accesibles desde cualquier infraestructura. Se espera un crecimiento significativo en la adopción de la virtualización en diferentes áreas, incluyendo servidores, escritorios, aplicaciones, almacenamiento, datos y redes. En particular, la virtualización de redes está emergiendo como una tendencia importante, transformando la forma en que proporcionamos servicios informáticos, desde el centro de datos hasta la nube y la red [2][3].

2.1.1 Virtualización vs modelo convencional

El modelo convencional de un sistema operativo es aquel en el que el sistema operativo se ejecuta directamente sobre el hardware físico del dispositivo, como vemos en la figura 1, permitiendo gestionar y controlar los recursos del sistema, como la CPU, la memoria, el almacenamiento, los dispositivos de entrada/salida y gestión de redes. Este modelo tiene varias ventajas, como un mejor rendimiento debido al control directo sobre el hardware, seguridad al proporcionar el aislamiento de hardware de otros dispositivos. Sin embargo, este enfoque tiene varias limitaciones, como la imposibilidad de ejecutar múltiples sistemas operativos simultáneamente en el mismo hardware, lo que puede ser una desventaja en entornos donde se requiere flexibilidad. Por ejemplo, en el desarrollo de software, donde los desarrolladores para garantizar la compatibilidad y el funcionamiento requieren de múltiples sistemas operativos [4].

Los sistemas de virtualización permiten ejecutar al mismo tiempo varios sistemas operativos sobre el mismo hardware. Para este proceso se necesita una capa adicional, denominada hipervisor.

El hipervisor gestiona los recursos en entornos de virtualización. Su función principal garantiza que cada máquina virtual reciba los recursos asignados de acuerdo con su configuración específica. Para lograr esto, el hipervisor distribuye de manera eficiente los recursos de computación físicos, como la CPU, la memoria, el almacenamiento y otros, a las máquinas virtuales según sea necesario. Este proceso permite la ejecución de múltiples máquinas virtuales en una sola máquina host, cada una con su propio sistema operativo y recursos de hardware dedicados.



Figura 1. Modelo convencional de un sistema operativo.

2.1.2 Seguridad de la red

La virtualización tiene un impacto significativo en la seguridad de la red. En entornos virtualizados, cada máquina virtual opera dentro de su propio entorno aislado, completamente separado del hardware principal. Este nivel de aislamiento implica que es más difícil para el malware acceder directamente al sistema operativo principal del host o a otras máquinas virtuales dentro del mismo entorno virtualizado.

Malware podría ser cualesquiera programas maliciosos mediante el cual se pueden robar, cifrar y eliminar datos de los dispositivos, alterar el funcionamiento y monitorear la actividad de los usuarios. Por ello, además, cabe la posibilidad de la ejecución de los archivos sospechosos en estos entornos virtualizados y aislados para poder estudiar su comportamiento sin el riesgo de perjudicar el sistema operativo principal.

Por otro lado, se ha de reconocer que, aunque los entornos virtualizados ofrecen mayor seguridad, tampoco son inmunes a los ataques. Siempre hay una posibilidad de comprometer el hipervisor a través de las máquinas virtuales que tenga acceso al exterior [5].

2.1.3 Tipos de hipervisores

Existen dos tipos de hipervisores. Hipervisores de tipo 1, también denominado hipervisor hardware, se sitúa entre el hardware y el sistema operativo de la máquina virtual, ejecutándose directamente en el hardware del dispositivo, como se ve en la figura 3. Esta ubicación otorga un control total sobre el hardware, lo que proporciona un rendimiento superior y una mayor eficiencia óptima en el uso de los recursos [6].

Entre los hipervisores de tipo 1 más destacados se encuentran Proxmox y VMware ESXi. Para este trabajo se va a implementar Proxmox, ya que además de ser gratuito y de código abierto, presenta una amplia compatibilidad con el hardware en comparación con el VMware. La interfaz de usuario basada en web de Proxmox simplifica tanto la creación como el monitoreo de las máquinas virtuales, proporcionando mayor flexibilidad en la gestión del entorno virtualizado [7].

Hipervisores de tipo 2 se aloja sobre un sistema operativo existente en el dispositivo y no en el hardware directamente, ver figura 2. Son más simples de usar y son adecuados para usuario que necesiten ejecutar varios sistemas operativos simultáneamente. Ofrecen un mayor comodidad y estabilidad, pero presentan menor rendimiento en comparación con el hipervisor de tipo 1 [8].

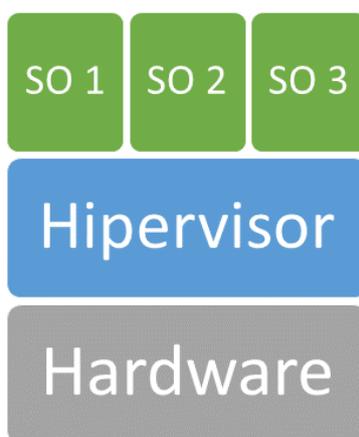


Figura 2. Arquitectura de implementación de un hipervisor de tipo 1.



Figura 3. Arquitectura de implementación de un hipervisor de tipo 2.

2.1.4 ¿Por qué Proxmox?

Proxmox es una solución de virtualización gratuita que destaca por su accesibilidad. Es un software libre y de código abierto, lo que significa que se puede contribuir en el proyecto, e inspeccionar el código fuente bajo la Licencia Pública General de Affero de GNU (*General Public License*). Este ofrece una alternativa sólida y confiable para la gestión de infraestructuras virtuales.

Proxmox proporciona un entorno seguro y estable para las operaciones de virtualización. Esto proporciona una mayor confianza para el usuario y una menor probabilidad de interrupciones en el servicio. Una de las características más destacadas de Proxmox es su interfaz web fácil de usar. Esta interfaz intuitiva es accesible a través de un navegador web, como Google Chrome, Firefox, Safari. Esto facilita a los usuarios administrar y configurar sus máquinas virtuales de manera eficiente, sin necesidad de conocimientos avanzados en virtualización. Además, Proxmox detecta automáticamente si se está conectando desde un dispositivo móvil y redirige a una interfaz de usuario basada en toque más simple.

La integración de una solución de copia de seguridad en Proxmox es otro punto a favor. Esta característica permite a los usuarios crear y restaurar copias de seguridad de sus máquinas virtuales, reduciendo el riesgo de pérdida de datos y minimizando los tiempos de inactividad debido a fallos.

Proxmox es compatible con una amplia gama de sistemas operativos, lo que lo hace adecuado para empresas que necesitan ejecutar diferentes aplicaciones en su entorno virtual. Esto proporciona flexibilidad y libertad para elegir las plataformas que mejor se adapten a las necesidades de cada uno.

Una de las ventajas más destacadas de Proxmox es su alto grado de personalización. Los usuarios tienen la posibilidad de adaptar y configurar el software según sus necesidades específicas, lo que les permite aprovechar al máximo la infraestructura virtual y optimizar el rendimiento.

Por último, Proxmox cuenta con una comunidad activa de usuarios y desarrolladores que comparten información, consejos y trucos a través de foros. Esta comunidad ofrece recursos para resolver problemas, compartir experiencias y estar al tanto de las últimas novedades en el mundo de la virtualización [9].

2.2 Definición y origen de Proxmox

2.2.1 Definición

Proxmox Virtual Environment es una plataforma de virtualización de servidores de código abierto. Basado en Debian Linux, se destaca como un hipervisor de tipo 1. Esta solución permite la virtualización tanto de servidores como de contenedores, ofreciendo una amplia gama completa de opciones para adaptarse a las instalaciones específicas de cada entorno de trabajo.

La principal función es proporcionar un espacio donde se permita crear y gestionar máquinas virtuales, contenedores y entornos de red creando entornos complejos y altamente flexibles. Se implementan dos tecnologías, KVM y LXC. KVM (Kernel-based Virtual Machine) es una solución para implementar la virtualización con Linux. Esta permite ejecutar múltiples máquinas virtuales utilizando imágenes de disco que contienen sistemas operativos. Cada máquina virtual tiene su propio hardware virtualizado: una tarjeta de red, discos duros, tarjeta gráfica, etc [10].

LXC (*LinuX Containers*), una tecnología de virtualización a nivel de sistema operativo exclusivo para Linux que permite a un servidor físico ejecute múltiples instancias de espacios de usuario aislados, Entornos Virtuales. LXC no provee de una máquina virtual, más bien provee un entorno virtual que tiene su propio espacio de procesos y redes [11].

2.2.2 Historia

El proyecto Proxmox comenzó en 2007 y alcanzó su primera versión estable en 2008 cuando se publicó Proxmox Virtual Environment. Inicialmente, combinaba OpenVZ para contenedores y KVM para máquinas virtuales, pero las características de agrupación eran limitadas y la interfaz de usuario era básica, generada por el servidor web.

A lo largo de su evolución, Proxmox VE ha mantenido su liderazgo en tecnologías de virtualización, introduciendo características como copias de seguridad y la migración de máquinas virtuales en tiempo real. La versión 4.0 marcó un hito importante con el cambio de OpenVZ a LXC, permitiendo una integración más profunda de los contenedores con las mismas características de almacenamiento y red que las máquinas virtuales. Además, proporcionando más flexibilidad y mayor rendimiento permitiendo que los usuarios puedan ejecutar aplicaciones más diversas [12].

2.2.3 Hardware recomendado

Para el funcionamiento de Proxmox VE se ha de tener en cuenta las capacidades de los equipos para un correcto funcionamiento. Los requisitos mínimos recomendados incluyen, por ejemplo, al menos 2 GB de RAM, aunque a mayor memoria se obtendrá mejor rendimiento de los servicios de Proxmox VE. Además, se necesita como mínimo 250 GB de espacio del disco para el sistema operativo base, el hipervisor, registros, y etc. Además, es crucial asignar memoria a las maquina virtuales que se plantean ejecutar, para evitar futuros cuellos de botella en la memoria y garantizar un funcionamiento fluido. Por otro lado, es recomendado que el dispositivo o el servidor sea



compatible con CPUs de 64 bits y que soporte técnicas de virtualización como Intel VT/AMD-V, que permite ejecutar múltiples sistemas operativos y aplicaciones en las máquinas virtuales.

Capítulo 3. Instalación de Proxmox

3.1 Opciones de instalación

En este trabajo se van a implementar dos maneras de instalación de Proxmox. La primera opción consiste en la implementación de un USB arrancable, la segunda opción en la implementación de un software de virtualización.

3.1.1 Equipo del cual dispongo

A lo largo del trabajo se han realizado pruebas con dos ordenadores con las siguientes características:

	Intel Core i3- 550	Intel Core i5-12400
Núcleos	2	6
Flujos	4	12
Frecuencia Base	3.2 GHz	2.5 GHz
Frecuencia Máxima	3.2 GHz	4.4 GHz
RAM	8 GB	16 GB
Almacenamiento	150 GB/223GB	200 GB/ 475 GB

Tabla 1. Equipo para el trabajo.

3.1.2 USB de arranque

Una USB de arranque, también conocida como *bootable*, es un dispositivo de almacenamiento en formato USB (*Universal Serial Bus*) diseñado para iniciar un sistema operativo desde el. Este dispositivo contiene los archivos necesarios para arrancar un sistema operativo, permitiendo que el dispositivo pueda ejecutarse automáticamente sin necesidad de que tenga un sistema operativo instalado previamente en el equipo. Además, permite la ejecución de un sistema operativo diferente al que ya está instalad. Por ejemplo, en este caso que se quiere instalar Proxmox en un ordenador con Windows.

Existe dos opciones que se puedan implementar en este caso. Para una de ellas, hay que contar con una USB que garantice una mayor velocidad de transferencia de datos, y con una aplicación para grabar la imagen del sistema operativo de Proxmox en la USB. Hay varias opciones posibles de herramientas, pero se ha seleccionado Rufus como la más adecuada para este proceso debido a su facilidad de uso.

Para otra opción, no es necesario disponer de una USB portátil, sino de una partición del disco duro del equipo anfitrión es suficiente. De la manera similar a la primera opción mediante la herramienta Rufus se graba la imagen del sistema operativo Proxmox [13].

Para este trabajo se han realizado ambas pruebas mencionadas anteriormente. Sin embargo, en un ordenador con recursos limitados estos procesos pueden llegar a ser un desafío. Para un funcionamiento óptimo de Proxmox, se necesitan suficientes recursos de la partición del disco duro y capacidad de procesamiento. Además, es necesario disponer de una USB que soporte carga considerable [14].

Al no disponer de los requisitos mínimos en el ordenador ni tampoco en la USB no se ha podido realizar la instalación de manera correcta. Se han podido observar fallos como cierre de pantalla



durante el proceso de instalación lo que manifiesta la falta de recursos para completar la instalación. Otras veces, consiguiendo completar la instalación surgía la incapacidad de acceder al servidor Proxmox vía web, lo que verifica que la instalación se completaba de manera incorrecta.

Al no poder superar el reto, se ha decidido virtualizar Proxmox en un hipervisor de tipo 2.

3.1.3 Softwares de virtualización

El Software de virtualización en el que se procederá a instalar Proxmox debe ser compatible con el sistema operativo Windows y se debe instalar directamente en Windows. Este tipo de software se clasifica como hipervisor de tipo 2, lo que implica que se instala sobre un sistema operativo del host, utilizando sus recursos para virtualizar. Entre varias opciones de Software de virtualización, VirtualBox destaca por su sencillez y accesibilidad, por lo que en el trabajo se decidió utilizar esta opción.

3.2 VirtualBox y Proxmox

VirtualBox es una aplicación que sirve para crear máquinas virtuales facilitando las instalaciones de diversos sistemas operativos dentro de un entorno. Esta herramienta es mucho más sencilla, ya que se ejecuta sobre un sistema operativo host ya existente, como Windows en este caso. Esto es lo que la convierte en una opción ideal para una virtualización accesible y fácil de manejar. Una de las características destacadas de VirtualBox es la capacidad que tiene para personalizar el hardware de las máquinas virtualizadas permitiendo así mayor adaptabilidad. Además, permite interconectar las máquinas instaladas, creando entre otras redes internas y redes privadas.

Por otro lado, Proxmox es un hipervisor de tipo 2, como se ha mencionado anteriormente, está diseñado para entornos más complejos. A diferencia de VirtualBox, se ejecuta directamente sobre el hardware del equipo, aprovechando así todos los recursos disponibles, pero a la vez no hay posibilidad de instalarlo sobre un sistema operativo, lo que dificulta a la hora de no disponer de más equipos. Esta herramienta permite la creación de múltiples máquinas virtuales, redes virtualizadas más complejas. Además, esta permite la creación de clústeres, interconectando varios nodos virtualizados. Proxmox permite visualizar los recursos y el proceso permitiendo así una gestión mucho más avanzada y escalable. Este último punto hace que sea apto para entornos de empresas más complejos que buscan soluciones de virtualización.

Capítulo 4. VirtualBox

4.1 Gestión de memoria en VirtualBox

En el contexto de VirtualBox, la memoria base es equivalente a la memoria física de una PC (computadora personal), mientras que la memoria virtual se refiere a la capacidad del sistema operativo virtualizado para asignar memoria adicional más allá de la memoria base existente.

4.1.1 Memoria virtual

La memoria virtual es una técnica que simula un espacio de memoria mucho mayor que la memoria física de un equipo, permitiendo que los programas se ejecuten sin tener en cuenta el tamaño exacto de la memoria del sistema anfitrión. Esta se puede considerar como una extensión del sistema real ya que permite a las máquinas virtuales disponer de más memoria de la que disponen.

Cuando se asigna una memoria virtual, se almacena en un disco duro del equipo anfitrión. Este proceso se realiza mediante un mecanismo de traducción de memoria. Cabe destacar que, aunque la máquina virtual puede acceder a una cantidad de memoria mucho mayor de la que está físicamente disponible, la ejecución real de los programas se realiza utilizando la memoria RAM del sistema anfitrión. Por lo que para tener un buen funcionamiento de la máquina virtual se debe de disponer de bastante memoria base en el dispositivo anfitrión.

Es importante de resaltar que, al no referirse a un espacio físico, la memoria virtual facilita la asignación dinámica del almacenamiento. Esto permite realizar ajustes flexibles que se adapten a las necesidades cambiantes [15].

4.1.2 Memoria base

La configuración de la memoria base en VirtualBox determina la cantidad de RAM que se asigna y se proporciona a la máquina virtual cuando está en ejecución. Este ajuste es crucial porque la cantidad de memoria especificada se solicitará al sistema host, por lo que debe estar disponible y debe estar disponible cuando se intente iniciar la máquina virtual. Una vez esté en ejecución la máquina virtual, esta memoria no estará disponible para el host, lo que significa que no se podrá utilizar para otras tareas en el sistema anfitrión.

Es posible cambiar el tamaño de la memoria después de instalar el sistema operativo invitado en la máquina virtual. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no se puede reducir la memoria a un punto en el que el sistema operativo virtualizado ya no pueda arrancar. Esto se debe a que este necesita suficiente memoria para funcionar correctamente. Si se reduce la memoria a un nivel insuficiente, el sistema operativo invitado puede no iniciarse o puede funcionar de manera inestable, lo que podría llevar a problemas de funcionamiento [16].

4.2 Adaptadores de red

Los adaptadores de red, también conocidos como tarjetas de interfaz de red NIC (*Network Interface Controllers*), son dispositivos de hardware que permiten la comunicación entre dispositivos a través de redes, ya sea cableada o inalámbrica. Estos componentes se integran en la placa base de una computadora y otro dispositivo facilitando la interconexión con otras computadoras, servidores y dispositivos de red.

Además, existen los llamados controladores de red, que actúan como unos intermediarios entre el sistema operativo y el hardware físico del adaptador de red, permitiendo que el sistema operativo envíe y reciba datos a través de la red.

Existen diversos tipos de adaptadores de red, incluyendo adaptadores inalámbricos integrados, USB, específicos para juegos, PCI y PCMCIA. Los adaptadores de red virtual operan completamente en software, sin necesidad de hardware real [17].

4.2.1 Modos de red

Es posible seleccionar el modo de red en relación con el hardware de red físico en el host. Existen cinco posibles modos de conexión de red en VirtualBox. Sin embargo, si no se configura ningún modo específico, la máquina virtual queda aislada, sin conexión con la red externa y con el propio host anfitrión.

A continuación, se van a explicar las cinco (A, B, C, D, E) diferentes configuraciones de red disponibles en VirtualBox:

A. Modo NAT

En la figura 4, se muestra el diseño de una red configurada en modo NAT, la que en VirtualBox es la predeterminado para todas las máquinas virtuales. Permite que estas obtengan una dirección IP privada, que suele ser 10.2.0.x que corresponde a una subred definida por VirtualBox. En este escenario, la máquina virtual utiliza la dirección IP del equipo host para comunicarse con la red local y acceder a Internet, pero no es visible desde la red externa. Para permitir la comunicación desde la red local hacia la máquina virtual, es necesario configurar el reenvío de puertos especificando la dirección privada de la máquina virtual. Este modo de configuración ayuda a proteger la máquina virtual al aislarla de la red externa [18].

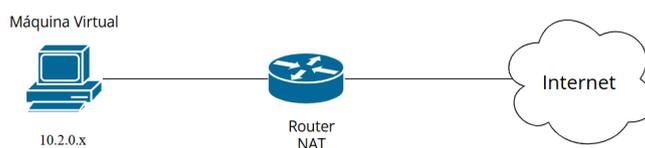


Figura 4. Diseño del modo NAT.

B. Modo de red NAT

El modo de red NAT en VirtualBox es una variante especial del NAT. Esta no solo permite a la máquina virtual acceder a Internet, sino también que se comunique con otras dentro de una red interna creada. VirtualBox configura la red del host para actuar como un router DHCP virtual (*Dynamic Host Configuration Protocol*), traduciendo las direcciones IP internas de las máquinas a la dirección IP del host, como se puede ver en la siguiente figura 5.

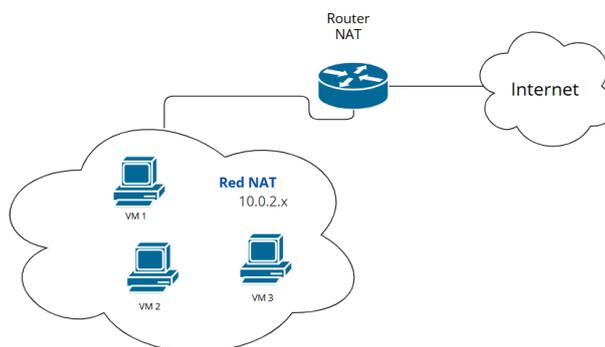


Figura 5. Diseño del modo red NAT.

C. Modo de red puente

En esta VirtualBox crea una simulación en la que la tarjeta de red virtual de la máquina está conectada al mismo switch que la tarjeta de red física del host anfitrión. Esto permite que la máquina virtual opere como si estuviera directamente conectada a la red del host, facilitando su visibilidad y comunicación con otros dispositivos en la red local, tal como se ilustra en la figura 6. Como resultado, la máquina virtual adquiere una dirección MAC (*Media Access Control*) específica y, si es necesario, un direccionamiento IP proporcionado por el servidor DHCP de la red local a la que pertenece el anfitrión.

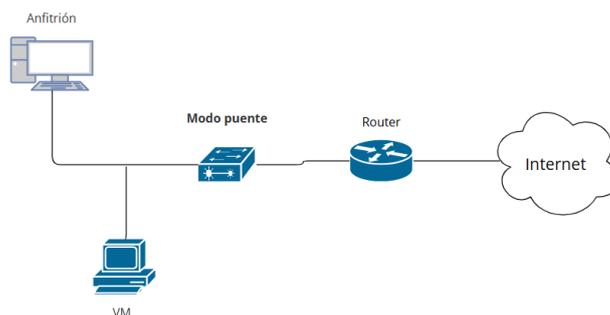


Figura 6. Diseño del modo de red puente.

D. Modo de red interna

El modo de red interna en VirtualBox permite establecer una red aislada entre dos o más máquinas virtuales, facilitando su comunicación entre sí sin acceso al exterior. Este modo es ideal para laboratorios donde se requiere que las máquinas virtuales interactúen entre sí sin interferencias externas, asegurando un entorno de pruebas seguro y controlado. VirtualBox ofrece la flexibilidad de crear múltiples redes internas, lo que permite organizar diferentes conjuntos de máquinas virtuales, como en la figura 7.

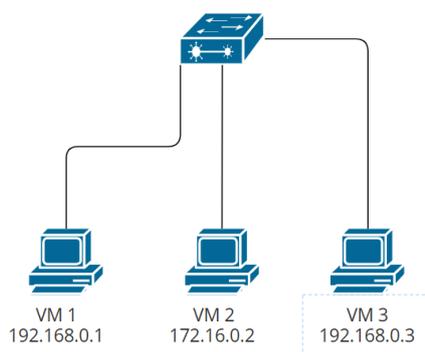


Figura 7. Diseño de modo de red interna.

E. Modo de comunicación solo-anfitrión

En el modo de comunicación solo-anfitrión, el adaptador de red de la máquina virtual se limita a la conectividad exclusiva con el equipo anfitrión, asegurando que la máquina virtual esté



completamente aislada de la red externa. Es ideal para pruebas donde se desea evitar interacciones no deseadas entre máquinas virtuales y para asegurar la integridad de la red creada [19][20].

4.2.2 Adaptadores del VirtualBox disponibles

A continuación, se describen los adaptadores de red disponibles en VirtualBox a la hora de elegir uno para este trabajo:

1. Hyper-V Virtual Ethernet Adapter

El Hyper-V Virtual Ethernet Adapter es un adaptador de red virtual que se crea cuando se utiliza Hyper-V. Hyper-V es un producto de virtualización de hardware de Microsoft que permite crear y gestionar máquinas virtuales en un sistema host. Sin embargo, en este trabajo no se va a implementar Hyper-V, ya que se utiliza otra solución de virtualización. VirtualBox, desarrollado por Oracle, es una solución de virtualización que no depende de Hyper-V [21].

2. Realtek PCI GbE Family Controller

Realtek PCI GbE Family Controller es un controlador de interfaz de red (NIC) que se encuentra en el host anfitrión. Este componente es responsable de gestionar las conexiones de red Ethernet, permitiendo la conexión a redes locales y a internet. Este controlador permite que las máquinas virtuales creadas en VirtualBox utilicen el hardware de red del host. Para este trabajo se va a implementar Realtek PCI GbE Family Controller combinado con las diferentes configuraciones de modos de red explicados en el capítulo anterior (A, B, C, D).

Capítulo 5. Instalación y configuración teórica de Proxmox

5.1 Virtualización de la máquina virtual Proxmox en VirtualBox

En el equipo del laboratorio ya se encuentra el VirtualBox, por lo que se procederá a inicial la instalación de Proxmox. Para instalar Proxmox VE, como una máquina virtual en VirtualBox, primero se descarga la imagen ISO de Proxmox desde su sitio web oficial. A continuación, se crea una nueva máquina virtual en VirtualBox con el nombre Proxmox. Para iniciar la instalación se selecciona la ISO descargada anteriormente y se completan los datos importantes. Se especifica el lugar de almacenamiento de la máquina virtual, en este caso el disco C que tiene una capacidad de aproximadamente 200GB. Se selecciona la versión Debian 11 Bullseye (64-bit) como sistema operativo base, ya que cumple con los requisitos y es compatible con Proxmox VE.

Seguidamente, se asigna aproximadamente 10 GB de memoria base con 6 núcleos para la ejecución de las aplicaciones y operaciones. Por otro lado, reserva 500 GB de la memoria virtual que se asignará dinámicamente en función de los datos. La RAM proporciona la memoria necesaria para que las máquinas virtuales y contenedores funcionen de manera eficiente. El almacenamiento restante se utiliza para guardar datos persistentes y discos duros virtuales. Por otro lado, para asegurar una virtualización correcta, se habilita VT-x/AMD-V anidado mediante la configuración de VirtualBox, mediante el comando que podemos visualizar en la figura 8. De lo contrario la instalación de Proxmox no será exitosa.

```
Símbolo del sistema
VBoxManage usbdevsource remove <source-name>
VBoxManage.exe: error: Invalid command 'modifyvnm'
C:\Program Files\Oracle\VirtualBox>VBoxManage modifyvnm "C:\Users\alumno\VirtualBox VMs\proxmox\proxmox.vbox" --nested-hw
-virt on
C:\Program Files\Oracle\VirtualBox>
```

Figura 8. Comando necesario para la habilitación de VT-x/AMD-V anidado.

AMD-V es un conjunto de extensiones de hardware desarrolladas por AMD y se utiliza principalmente para mejorar el uso en el hipervisor de los recursos y el rendimiento de la máquina virtual [22].

La activación VT-x/AMD-V anidado en VirtualBox permite ejecutar máquinas virtuales dentro de otra máquina virtual. Este ajuste es particularmente útil en este caso, cuando se virtualiza hipervisor en el que posteriormente se van a ejecutar más máquinas virtuales. Esta configuración, además, garantiza un entorno de virtualización más complejo y escalable.

Tras completar la configuración para la correcta instalación se inicia la máquina virtual Proxmox. Aquí es donde se procede a determinar las características del servidor Proxmox. Se selecciona el tipo de visualización gráfica que posteriormente proporcionará el uso fácil que mejorará la eficiencia operativa. Además, se podrán configurar algunos datos como, el país, el nombre, y un correo electrónico válido.

La configuración de la red es una de las más importantes. Gracias a esto posteriormente se obtendrá el acceso a la interfaz gráfica y la comunicación entre las máquinas virtuales configuradas. Por defecto, automáticamente se establece una dirección IP, el *gateway* que corresponde con la puerta de enlace predeterminada y la dirección del servidor DNS (*Domain Name System*) que utilizará el sistema para resolver nombres de dominio en direcciones IP. Esta configuración se puede visualizar en la figura 9.



Figura 9. Configuración de la red para la instalación de Proxmox.

Por último y después de completar la instalación de Proxmox, es crucial eliminar la ISO de instalación que se ha descargado previamente en VirtualBox. Esto evitará que la instalación de Proxmox se inicie nuevamente la próxima vez que se inicie la máquina virtual.

Una vez eliminada la ISO, es necesario reiniciar la máquina virtual. Así posteriormente al iniciar la máquina virtual, aparece toda la información necesaria para el acceso a interfaz web.

5.2 Distribución de memoria en Proxmox

El hipervisor Proxmox divide la memoria asignada en la instalación en dos particiones principales: una denominada *local* y la otra *local-lvm* (*Logical Volume Manager*). La partición *local*, en este contexto, obtiene una capacidad de 100GB de la memoria virtual asignada. Esta partición es crucial ya que almacena el sistema operativo de Proxmox y las imágenes ISO de las máquinas virtuales, posibles copias de seguridad y otros archivos relacionados. Por otro lado, la partición *local-lvm* permite administrar volúmenes lógicos, y esta obtiene unos 400GB de memoria. Este espacio se encarga exclusivamente de almacenar todas las máquinas virtuales que se vayan a generar en Proxmox, asegurando una gestión flexible y dinámica del almacenamiento.

5.3 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica de Proxmox Virtual Environment es una herramienta importante que simplifica y optimiza la administración y visualización de máquinas virtuales. Esta interfaz está diseñada para un uso intuitivo y fácil, se estructura en varias secciones que facilitan el control y la gestión de servidores virtuales. A través de un navegador web, se puede monitorear el estado de las máquinas, acceder a configuraciones detalladas. Sin embargo, en ausencia de la interfaz gráfica, la gestión se vuelve más complicada, ya que solo se dispone del terminal, una herramienta que, requiere un conocimiento más extenso y puede ser no muy apropiada para los usuarios con poca experiencia en Linux y en el sistema.

Para acceder a la interfaz gráfica de Proxmox, se debe iniciar el navegador. En la barra de direcciones se introduce la dirección IP del servidor seguida de 8006, que corresponde al puerto del servidor Proxmox. En la figura 10 aparece la interfaz de este proyecto.

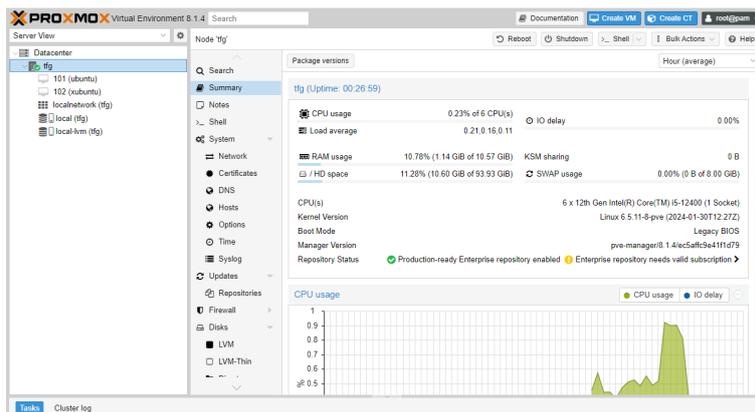


Figura 10. Interfaz gráfica correspondiente al nodo creado de Proxmox.

5.4 Adaptadores de red en Proxmox

En el contexto de la virtualización, especialmente cuando se trata de Proxmox VE, la importancia de los adaptadores de red se vuelve aún más relevante. La configuración de red en Proxmox utiliza puentes de red Linux Bridge, identificados por *vmbr*. Estos puentes actúan como conmutadores virtuales que conectan adaptadores físicos del host y el sistema de Proxmox, lo que permite una comunicación transparente entre las máquinas virtuales y la red física.

Es importante mencionar que el adaptador físico en este caso no va a ser una interfaz física del equipo, sino uno de los adaptadores correspondientes de VirtualBox. En el apartado de configuración de las redes en la interfaz gráfica de Proxmox, la interfaz que corresponde a la red física se denomina 'enp0sX'. Esta nomenclatura correspondiente es la que se usa en Linux, donde 'X' puede ser cualquier número que identifica la interfaz correspondiente en el caso de que haya más de una [23].

5.4.1 Modelos de configuraciones de red en Proxmox

De manera similar a VirtualBox en Proxmox existen varias configuraciones de red que se van a comentar a continuación:

Modelo 1.

Este modelo pertenece a la configuración predeterminada que se establece al instalar el servidor Proxmox VE, no se desconfigura hasta que el usuario quiera realizar algún tipo de modificación. Tal y como se muestra en la figura 11, se vincula la interfaz de red física, en este caso 'ens33', con la dirección IP del servidor Proxmox asignada en la instalación. Este proceso es fundamental para el correcto funcionamiento del servidor y para el acceso a su interfaz gráfica.

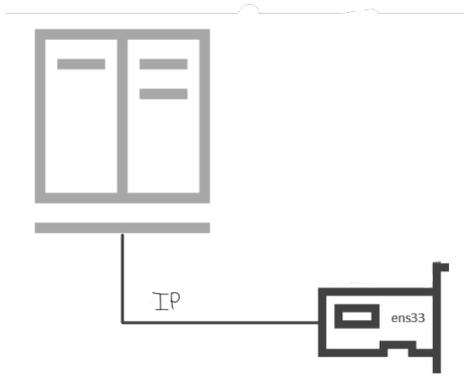


Figura 11. Modelo 1 de adaptador de red.

Modelo 2.

Linux Bridge, identificado en este contexto como *vmbr0*, representa un elemento esencial que funciona como un puente de red. Este puente permite la conexión entre las máquinas virtuales y el servidor Proxmox que a su vez están conectadas a la interfaz de red configurada *ens33*. Esto no solo proporciona la conexión a Internet desde las máquinas, sino que también asegura una comunicación fluida entre las máquinas virtuales y el servidor, lo cual es crucial para la gestión y operación de estas. Este modelo de configuración se puede observar en la figura 12.

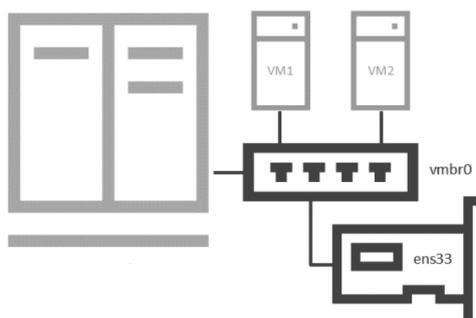


Figura 12. Modelo 2 de adaptador de red.

Modelo 3.

Para establecer una red externa aislada en Proxmox, se necesitan al menos dos interfaces de red físicas. Esta configuración asegura un aislamiento entre el hipervisor y las máquinas virtuales. Este aislamiento es una opción interesante cuando las máquinas son administradas por terceros y impide el acceso al hipervisor desde estas. Para implementar esta configuración, se crea un nuevo puente de red *vmbr4* y se asocia con un interfaz de red diferente *ens37*, como se ilustra en la figura 13. Este modelo mejora la seguridad y el control sobre el acceso a la red y al hipervisor.

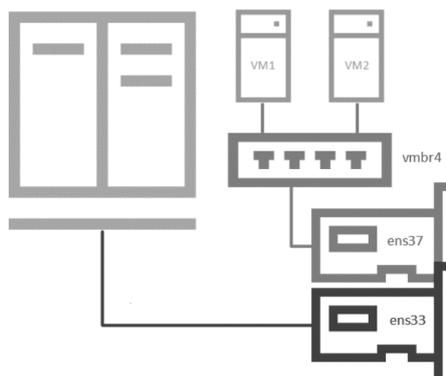


Figura 13. Modelo 3 de adaptador de red.

Modelo 4.

Este establece una red interna que permite aislar máquinas virtuales de una red externa, impidiendo su acceso al exterior. Se puede implementar en entornos de laboratorio. Este permite una gestión más controlada y segura de las máquinas virtuales configuradas, ver la figura 14.

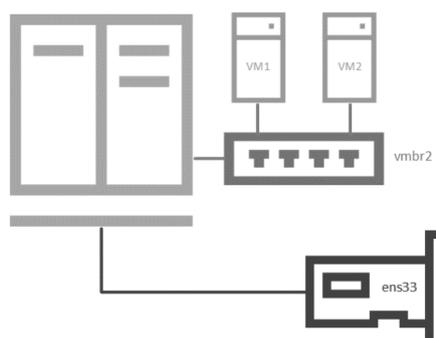


Figura 14. Modelo 4 de adaptador de red.

Modelo 5.

Para establecer una red interna que garantiza aislamiento tanto de la red externa como del propio hipervisor, se crea un puente de red sin ninguna configuración. Este enfoque permite generar una red completamente independiente entre las máquinas virtuales, lo cual es beneficioso en entornos de laboratorio, donde se requiere un espacio de pruebas aislado y controlado, ver la figura 15.

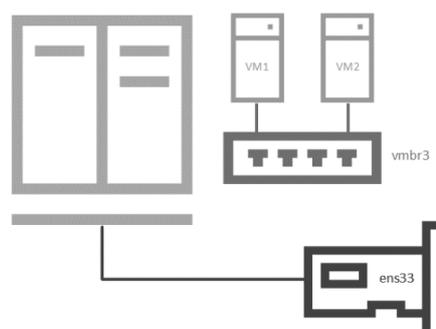


Figura 15. Modelo 5 de adaptador de red.

En este trabajo a continuación se implementarán varios de los modelos anteriormente explicados. Esto permitirá entender el comportamiento de Proxmox en diferentes configuraciones y en relación con VirtualBox.

Capítulo 6. Configuración de la red en Proxmox

6.1 Acceso a Proxmox

En este capítulo se van a realizar las diferentes configuraciones de la red mencionadas anterior y posteriormente se analizarán los resultados. En particular, en el primer apartado se comentarán las configuraciones que se han realizado para el correcto inicio del hipervisor Proxmox.

En primer lugar, se configuran los adaptadores en VirtualBox que a su vez estará directamente relacionados con las interfaces de red correspondientes en Proxmox. Es importante identificar el adaptador correspondiente a la interfaz principal que conecta el servidor Proxmox a internet. Esto es crucial ya que nos asegura el acceso a su interfaz gráfica a través de un navegador, facilitando la administración y gestión del servidor.

Tras varias pruebas realizadas, se verifica que configurando el adaptador de red 1 de los 4 disponibles en VirtualBox como un adaptador puente (C). A su vez, este conectado al adaptador físico Realtek PCI GbE Family Controller correspondiente al equipo anfitrión, responsable de proporcionar la conexión a internet, garantiza que el hipervisor tenga acceso a internet. En la figura 16 se puede ver la configuración creada, donde además aparece *vmbro0* (*Virtual Bridge*) que interconecta el hipervisor con su interfaz *enp0s*.

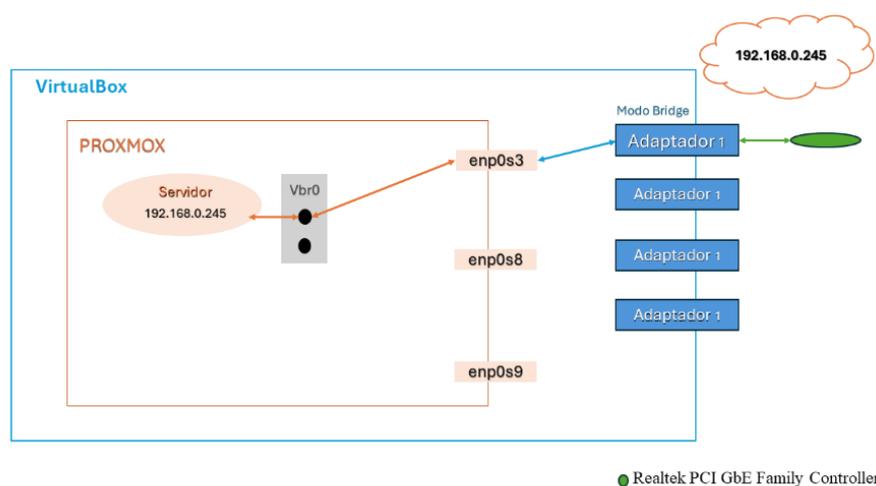


Figura 16. Configuración base para acceder a Proxmox.

Una vez realizada la configuración e iniciada la máquina virtual del hipervisor Proxmox en VirtualBox, se mostrará el terminal de Proxmox, donde se aparecerá la dirección IP asignada previamente. En este caso tal y como se explica en la figura 16, la dirección IP es 192.168.0.245. Aquí es donde se verifica que el servidor tiene acceso a internet, asimismo será posible el acceso a su interfaz gráfica. Para comprobarlo, se realiza *ping 8.8.8.8* en el terminal del servidor. Si se recibe una respuesta, esto verifica que el servidor tiene acceso a internet y por ello acceso a la interfaz gráficas.

Se puede apreciar en la figura 17 que se recibe respuesta al *ping*, por lo que se garantiza la conexión a internet, lo que significa una configuración correcta.

```
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Feb 29 16:39:43 CET 2024 on tty1
root@tfg:~# ping 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=114 time=8.11 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=114 time=8.39 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=114 time=8.14 ms
^Z
[1]+  Stopped                  ping 8.8.8.8
root@tfg:~# _
```

Figura 17. Captura de terminal de Proxmox que demuestra la conexión a internet

En otros escenarios de configuración de adaptadores en VirtualBox, como por ejemplo, en el modo NAT (A) o solo anfitrión (E), no se ha obtenido acceso a internet. Seguidamente, al no obtener conexión a internet, no será posible el acceso a la interfaz web lo que dificultará la gestión de Proxmox. Es por ello que se mantendrá la configuración modo puente (C).

6.1.1 Asignación de adaptadores en Proxmox

En la figura 18, que corresponde con la captura de pantalla de la interfaz gráfica en la sección de redes de Proxmox, se puede apreciar que el adaptador 1 de VirtualBox, que ya ha sido configurado previamente, se ha vinculado automáticamente con la interfaz *enp0s3*. Esto se verifica porque la dirección IP del servidor está asociada a la interfaz *enp0s3*. Este vínculo se mantendrá fijo en este trabajo. Siguiendo la lógica de asignación de Proxmox, se puede suponer que el adaptador 2 corresponderá a la interfaz *enp0s8* y el adaptador 3 a la interfaz *enp0s9*.

Entender esta asociación es crucial para utilizar estas interfaces de manera efectiva y facilitar la interconexión de futuras máquinas virtuales mediante puentes.

Name ↑	Type	Active	Autostart	VLAN aware	Ports/Slaves	Bond Mode	CIDR
enp0s3	Network Device	Yes	No	No			
enp0s8	Network Device	No	No	No			
enp0s9	Network Device	No	Yes	No			
vmbr0	Linux Bridge	Yes	Yes	Yes	enp0s3		192.168.0.245/24
vmbr1	Linux Bridge	Yes	Yes	No	enp0s9		
vmbr2	Linux Bridge	Yes	Yes	No	enp0s8		

Figura 18. Relación entre las interfaces *enp0s* y los puentes *vmbr* correspondientes

6.2 Máquinas virtuales

6.2.1 Instalación de las máquinas virtuales

Para crear una máquina virtual en primer lugar se debe descargar la imagen ISO correspondiente a la futura máquina virtual en la partición *local*. Este proceso se puede realizar mediante la descarga del archivo que se encuentra en el equipo físico descargado previamente.

La primera máquina virtual será un sistema operativo Xubuntu, debido a su ligereza y facilidad de instalación. Durante la instalación, es crucial asignar memoria y núcleos adecuados para asegurar los recursos suficientes para realizar las pruebas. En este caso se ha asignado 2GB de memoria base. Por otro lado, cada máquina virtual instalada en el hipervisor tendrá un ID específico para su detección que corresponde a una Identificación Única, en este caso siendo el ID 101 asignado a la primera máquina. Finalmente, la configuración de la red se deja en predeterminado, para realizar pruebas con diferentes configuraciones de red en el futuro. Del mismo modo explorando distintos modos de configuración disponibles tanto en VirtualBox como en Proxmox. Se enciende la máquina virtual, y comienza la instalación del sistema operativo. Se ajustan las configuraciones necesarias.

La siguiente máquina virtual será de Ubuntu, un sistema operativo más complejo, comprobando el funcionamiento de diferentes sistemas operativos. El proceso para crear esta máquina virtual es muy similar al de la primera, asignando 4.50 Gb para asegurar un rendimiento adecuado. Su ID correspondiente será el 102.

Se pueden observar máquinas virtuales instaladas en la figura 10 correspondiente a la interfaz. Además, en la figura 19 se puede ver la asignación de la memoria que se ha producido tras la instalación, donde la *Memory* corresponde con la memoria base y *Storage* con la memoria virtual asignada.

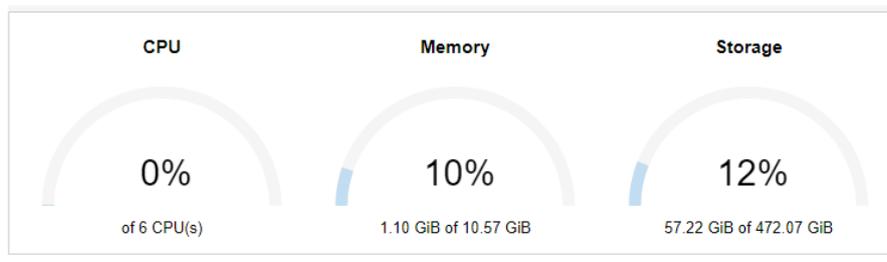


Figura 19. Asignación de la memoria

6.2.2 Configuración de la red

A continuación, tras disponer de dos máquinas virtuales instaladas en el hipervisor, se seguirá el modelo 2 explicado anteriormente para la configuración de la red en Proxmox, como se muestra en la figura 12. Para crear este escenario se configura en el apartado de red de cada máquina, empleando el *vbr0* como un switch virtual. Este a su vez conectado al hipervisor y a la interfaz de red externa que corresponde a VirtualBox y al exterior. De modo que las máquinas instaladas deberían de tener conexión tanto con el hipervisor como con el exterior, ver figura 20.

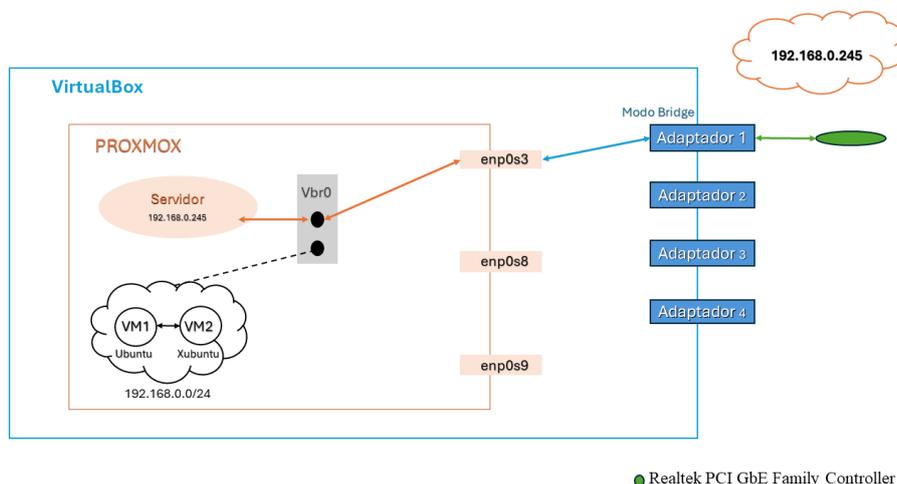


Figura 20. Configuración de red como modelo 2. Puente virtual como intermediarios entre la red externa.

6.2.3 Análisis de los resultados 1

Tras encender las máquinas virtuales y acceder a ellas, se comprueba que no tienen acceso a internet. Al ejecutar el comando *ping*, no se ha recibido ninguna respuesta, lo que indica que no hay conectividad externa. Este escenario confirma que configurando un único adaptador en modo puente en VirtualBox no es suficiente para que las máquinas virtualizadas en Proxmox tengan acceso al exterior. Es probable que una serie de limitaciones debido a la doble virtualización,

impidan asignar más de una dirección IP válida. En este caso, tanto Proxmox como las máquinas virtuales instaladas en él están utilizando un único adaptador de red en modo puente.

A pesar de no tener conexión a internet, las máquinas virtuales han obtenido direcciones IP privadas en el rango 192.168.0.100/101. Sin embargo, esta red interna no está en la misma subred que el adaptador de red del host anfitrión. Por otro lado, se verifica que existe una interconexión entre las máquinas virtuales en Proxmox debido a la red creada.

Dado que el objetivo es conseguir la conexión a internet, se procede a realizar otra serie de pruebas. Se creará otro escenario de red siguiendo diferentes modelos de configuración para lograr el objetivo propuesto.

6.3 Conexión al exterior desde las máquinas virtualizadas

En este apartado, se sigue el modelo 3 correspondiente a la figura 13. Este modelo implica el uso de dos interfaces de red en el servidor Proxmox: *enp0s3* y *enp0s8*. Donde la interfaz *enp0s8* se implementará para las máquinas virtuales mediante el adaptador 2. Mientras que *enp0s3* se mantiene sin cambios de configuración.

A continuación, se van a comentar dos casos diferentes en los que se va a configurar el adaptador de VirtualBox correspondiente a la interfaz *enp0s8* de Proxmox. En primer lugar, el adaptador de VirtualBox actuará como un adaptador puente, en segundo lugar, como una red NAT.

6.3.1 Adaptador puente

En este caso, se configuran los dos adaptadores de VirtualBox en modo puente (modo Bridge), tal y como se puede apreciar en la figura 21. En este escenario se repite la misma situación del caso anterior. A las máquinas virtuales se les asigna unas direcciones IP en el rango 192.168.0.0/24. Se crea una red interna, pero no hay conexión con el hipervisor ni con el exterior.

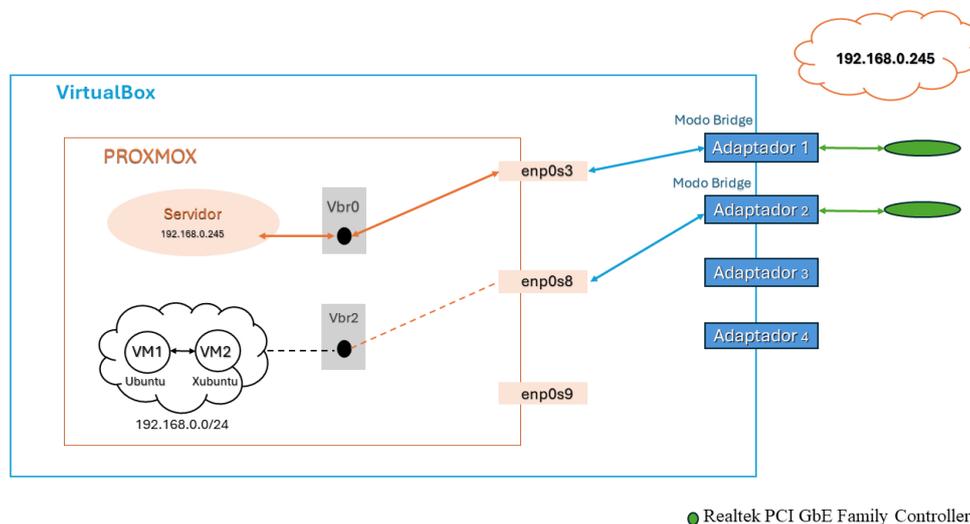


Figura 21. Configuración del modelo 3.

6.3.2 Red NAT. Reenvío de puertos

En este apartado se va a analizar otro escenario. En particular, el adaptador 1 correspondiente a VB (VirtualBox) se mantiene configurado en modo puente, a su vez asignado a la interfaz *enp0s3*, directamente relacionado con el servidor de Proxmox. Este modo, como se ha mencionado anteriormente permite que la máquina virtual creada Proxmox en VB opere como si estuviera directamente conectada a la red del host anfitrión.

Para este escenario específico, se configura además el adaptador 2 como un tipo NAT. El adaptador NAT, como se ha explicado en los apartados correspondiente a VirtualBox, actúa como un servidor DHCP, asignando direcciones IP privadas a las máquinas virtuales. En este caso, el adaptador NAT, correspondiente al adaptador 2 de VirtualBox se asocia con la interfaz de red *enp0s8* en Proxmox.

Siguiendo el modelo 3, que se muestra en la figura 13, se implementa *vbr2* (Virtual Bridge) para interconectar las máquinas virtuales creadas con la interfaz *enp0s8* que da acceso a VirtualBox. Este enlace implica que ambas máquinas virtuales comparten la misma interfaz de red, lo que les debería de proporcionar el acceso al exterior. Pero no es así, las máquinas virtuales no reciben respuesta del exterior.

Con esto se comprueba que, sin una configuración de reenvío de puertos adecuada en VB, router de NAT no es capaz de traducir correctamente las direcciones internas de las máquinas virtuales. Esto se debe a que las máquinas se vuelven inalcanzables desde el exterior.

En este entorno el router NAT debe saber cómo redirigir el tráfico de respuesta a la máquina virtual. Esto se logra mediante la configuración de reenvío de puertos en VirtualBox, donde se especifica un puerto en el host, en este caso Proxmox que se redirige a un puerto en la máquina virtual. Se puede observar la configuración de reenvío de puertos en la figura 22.

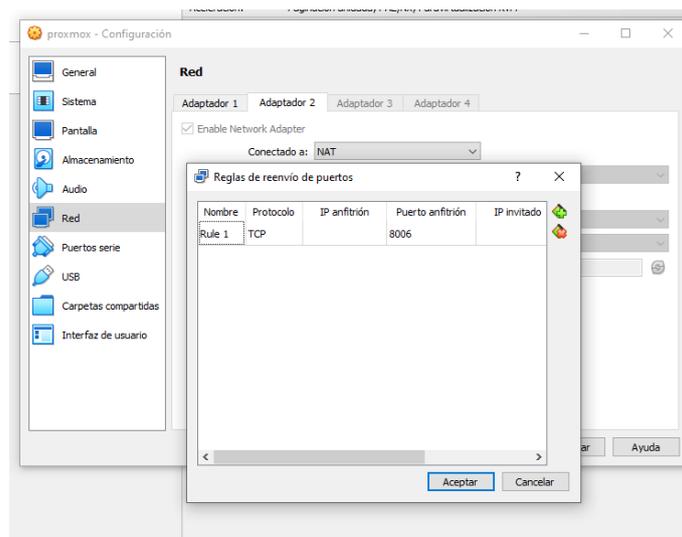


Figura 22. Reenvío de puertos

Finalmente se obtiene una configuración mostrada en la figura 23, donde el adaptador 2 es referido a la configuración modo NAT con reenvío de puertos. Seguidamente, se puede ver que las máquinas virtuales de Proxmox obtienen una dirección del rango 10.0.3.0/24 creando una red privada interna. Mientras que, en el exterior, las mismas obtienen una dirección del rango 192.168.0.74.

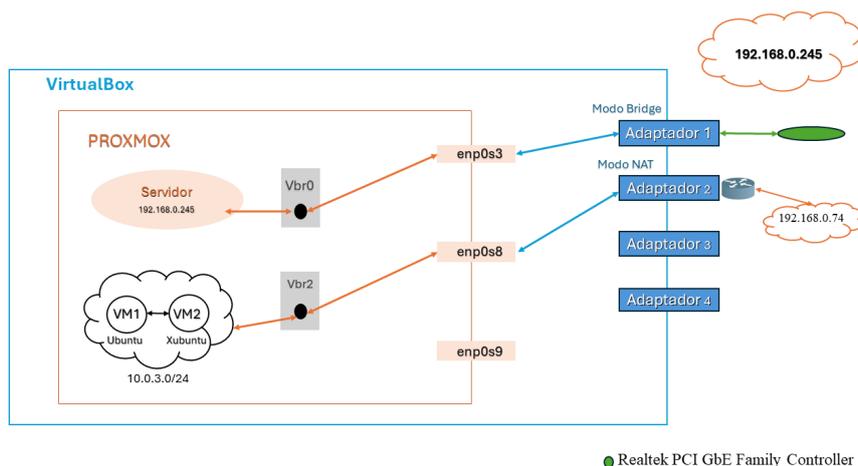


Figura 23. Configuración diferente del modelo 3.

6.3.3 Análisis de los resultados 2

Después de realizar las pruebas mencionadas, se confirma que la configuración de adaptadores VirtualBox en modo puente solo es adecuada para la interfaz del servidor Proxmox. Ya que al intentar aplicar esta configuración para las máquinas virtuales de Proxmox, no es posible obtener conexión a internet desde estas.

Dado que el objetivo propuesto del trabajo era conseguir que las máquinas de Proxmox tengan acceso a internet, se ha configurado el adaptador 2 correspondiente a estas de manera diferente. Se ajusta el adaptador 2 en modo NAT, se establece el reenvío de puertos con lo que consigue alcanzar el objetivo. Seguidamente, con esta configuración, no solo se logra que las máquinas virtuales de Proxmox tengan acceso a internet, sino también que sean visibles y accesibles desde el exterior. Además, se establece una conexión entre el servidor Proxmox y las máquinas instaladas en él, asegurando una comunicación eficiente y estable.

En esta configuración, las máquinas virtuales obtienen unas direcciones IP dentro del rango 10.0.3.0/24, formando así una red interna. Al interactuar con el exterior, estas máquinas utilizan la dirección IP del host anfitrión, que corresponde a 192.168.0.74. El host en este caso actúa como intermediario. Este modo de configuración en VirtualBox asigna las direcciones IP privadas de las máquinas virtuales de Proxmox con la dirección IP pública del host (192.168.0.74) para la interacción con la red externa. Es por ello que, en el exterior parece que el tráfico proviene directamente del host y no de las máquinas virtuales de Proxmox.

Este comportamiento se puede observar en la figura 24, que muestra una captura de Wireshark tomada en el momento en que se realizó un ping desde una de las máquinas virtuales instaladas en Proxmox.

5	2.766683	192.168.0.74	8.8.8.8	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0x0001, seq=156/39936, ttl=63 (reply in 6)
6	2.779185	8.8.8.8	192.168.0.74	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x0001, seq=156/39936, ttl=113 (request in 5)
9	3.769992	192.168.0.74	8.8.8.8	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0x0001, seq=157/40192, ttl=63 (reply in 10)
10	3.783155	8.8.8.8	192.168.0.74	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x0001, seq=157/40192, ttl=113 (request in 9)
13	4.779781	192.168.0.74	8.8.8.8	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0x0001, seq=158/40448, ttl=63 (reply in 14)
14	4.792863	8.8.8.8	192.168.0.74	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x0001, seq=158/40448, ttl=113 (request in 13)
16	5.792184	192.168.0.74	8.8.8.8	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0x0001, seq=159/40704, ttl=63 (reply in 17)
17	5.805212	8.8.8.8	192.168.0.74	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x0001, seq=159/40704, ttl=113 (request in 16)
18	6.899791	192.168.0.74	8.8.8.8	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0x0001, seq=160/40960, ttl=63 (reply in 19)
19	6.903838	8.8.8.8	192.168.0.74	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x0001, seq=160/40960, ttl=113 (request in 18)
23	7.902133	192.168.0.74	8.8.8.8	ICMP	98 Echo (ping) request	id=0x0001, seq=161/41216, ttl=63 (reply in 24)
24	7.915208	8.8.8.8	192.168.0.74	ICMP	98 Echo (ping) reply	id=0x0001, seq=161/41216, ttl=113 (request in 23)
35	14.989243	192.168.0.113	224.0.0.1	ICMP	60 Mobile IP Advertisement (Normal router advertisement)	

Figura 24. Dirección de las máquinas virtuales de Proxmox en el exterior

Capítulo 7. Monitorización de las gráficas

7.1 Métricas de Proxmox

En este apartado del trabajo se van a comentar las métricas que aparecen en la interfaz gráfica de Proxmox. Estas métricas son cruciales ya que proporcionan información valiosa sobre el uso de recursos como CPU, memoria, disco y red, lo cual es crucial para optimizar el rendimiento y garantizar una experiencia de usuario óptima. Las métricas permiten monitorear en tiempo real cómo se están utilizando los recursos de hardware. Esto incluye la capacidad de ver si hay sobrecarga en algún componente específico. Por otro lado, es posible identificar cuellos de botella o situaciones en las que se puede distribuir la carga de mejor forma, asimismo aumentar la capacidad de procesamiento.

En la figura 25, se pueden ver las cuatro gráficas correspondientes a uno de los nodos de Proxmox, correspondientes a alguna de las máquinas virtuales instaladas. La captura se ha realizado en el estado de arranque de la máquina virtual. La primera de las gráficas muestra el porcentaje de la CPU asignado a la máquina que se está utilizando. En este caso, el uso de la CPU es bajo, lo que indica que existe poca actividad de procesamiento en el momento de arranque, y la máquina está en espera.

En la segunda gráfica se muestra la cantidad de memoria RAM (*Random Access Memory*) utilizada por una máquina virtual (VM) al arrancar, es crucial para entender el rendimiento inicial y potencial de la VM. En este caso, la VM usa casi toda la memoria total asignada (4.84 GB), lo que significa que está usando casi toda la memoria disponible para sus procesos de inicio. Este alto uso de memoria puede verse en respuestas lentas de la VM, especialmente durante el arranque. En este estado se experimentan tiempos de carga largos. Es por ello esencial que la VM tenga suficiente memoria disponible para operar de manera eficiente. Por ejemplo, en este ejemplo al asignar mayor memoria el procesamiento sería más rápido y efectivo.

La tercera gráfica muestra la cantidad de datos que entran (*netin*) y salen (*netout*) de la máquina virtual a través de la red, en este estado de arranque. En este caso los datos pueden ser: la información generada o recibida por las aplicaciones que se ejecutan dentro de la VM; los paquetes de control que se utilizan para gestionar la red, como protocolos de enrutamiento, mensajes de estado de conexión; entre otros. En este contexto, no se ha captado actividad significativa de red ya que los valores son cercanos a cero, esto indica que la VM no ha participado en ninguna actividad. Seguidamente, se puede considerar que la máquina puede estar ocupada configurando interfaces de red, estableciendo conexiones y cargando servicios.

En la última gráfica se muestran la cantidad de datos leídos o escritos en megabytes por segundo, esta permite evaluar el rendimiento del disco de una máquina virtual. En este caso, las operaciones de lectura (*diskread*) y escritura (*diskwrite*) en el disco realizadas por la máquina virtual recién encendida, no se aprecian. Durante la fase de inicialización, el sistema operativo y las aplicaciones pueden estar ocupados con tareas de configuración y arranque, por lo que no surge la necesidad de leer o escribir grandes cantidades de datos en el disco. Una vez termina la inicialización, y las aplicaciones comienzan a realizar tareas productivas, lectura y escritura en el disco comienzan a aumentar.

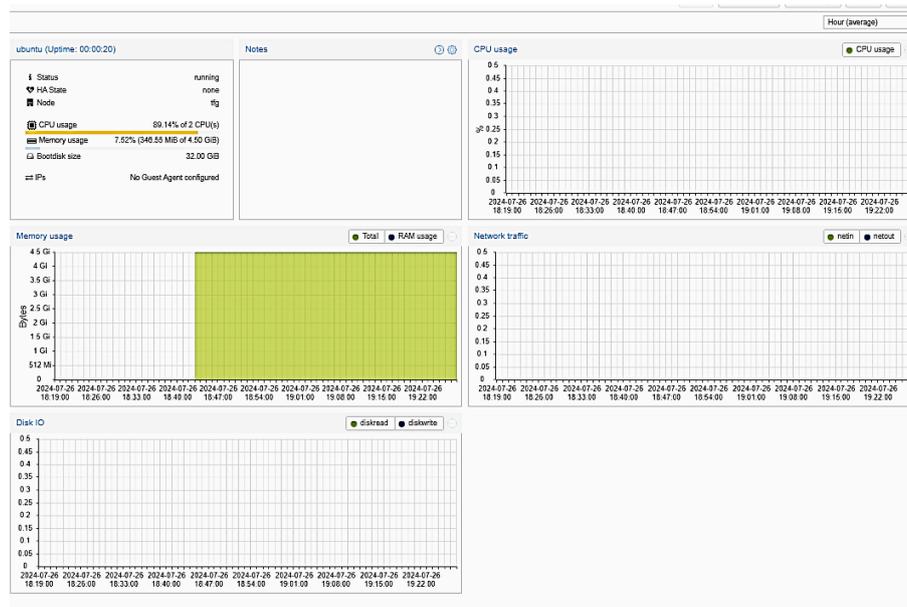


Figura 25. Gráficas disponibles en la interfaz de Proxmox

A continuación, se pasará a comentar las dos diferentes situaciones con dos máquinas virtuales en las cuales están instalados dos sistemas operativos diferentes.

7.2 Evaluación del rendimiento de las máquinas virtuales de Proxmox

7.2.1 Introducción al análisis de los resultados

Con el objetivo de realizar un análisis de las dos situaciones, concretamente de los dos sistemas operativos Xubuntu y Ubuntu, a continuación se van a explicar las características esenciales de estos. Con el objetivo de entender el comportamiento y el rendimiento de cada uno de los sistemas operativos una vez se visualicen.

7.2.2 Características del sistema operativo Ubuntu

En primer lugar, se van a comentar características más destacadas del sistema operativo Ubuntu. En cuanto a la interfaz de usuario, Ubuntu viene con GNOME por defecto. Esta interfaz gráfica es completa y es fácil de usar, pero puede consumir más memoria RAM y CPU que entornos de escritorio más ligeros, como Xfce o Lxde, debido a su enfoque en la funcionalidad y la interactividad. Esto puede afectar el rendimiento en máquinas con recursos limitados. En este entorno de escritorio vienen preinstaladas una serie de aplicaciones, como por ejemplo el calendario, la calculadora, Firefox, entre otras.

Para un rendimiento adecuado de Ubuntu con GNOME, se recomienda tener como mínimo 4 GB de RAM para instalaciones físicas. Por otro lado, respecto la CPU, es recomendable disponer de como mínimo 2 núcleos y al menos de 25GB de espacio en el disco duro.

Tal y como se puede apreciar en la figura 26 en parte izquierda superior, las asignaciones que se han dado al sistema operativo Ubuntu de la máquina virtual en Proxmox, cumplen con las recomendaciones de mínimos [24]:

- 2 núcleos en la CPU
- 32 GB de espacio

7.2.3 Métricas de la máquina virtual Ubuntu de Proxmox

La captura que aparece en la figura 26 corresponde al momento cuando se estaba navegando por internet, accediendo a la página web de la UPV desde Firefox. Como se puede ver, se trata de un escritorio complejo por las aplicaciones y herramientas que aparecen en el lado izquierdo.

Desde el punto de vista del usuario, se ha observado que la interfaz gráfica de la máquina virtual no respondía de manera fluida, de lo contrario, tenía un retraso significativo. Ha tardado más de 10 segundos para abrir el navegador y posteriormente otros más para iniciar Firefox. Mientras tanto, la resolución no se ha visto degradada ya que los elementos del escritorio y de la página web se ven claros y fáciles de usar.

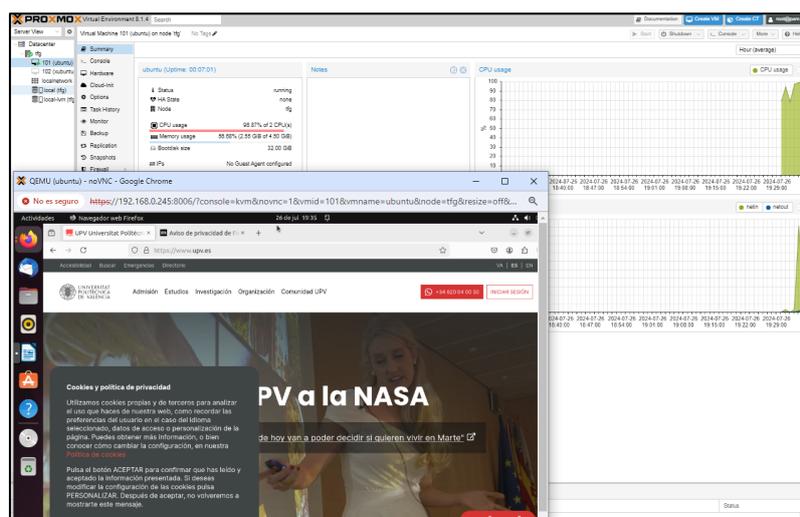


Figura 26. Captura del estado de la máquina virtual con Ubuntu en el momento de navegación por internet.

Seguidamente, en la misma figura 26 comentada en el párrafo anterior se pueden visualizar el rendimiento de la máquina desde el punto de vista técnico. En la parte izquierda superior, aparece el rendimiento de la CPU y de la memoria. La CPU está a 96.87%, lo que significa que está casi completamente utilizada. Esto es lo que explica el bajo rendimiento del sistema y baja experiencia del usuario. Las aplicaciones del sistema operativo Ubuntu, se vuelven extremadamente lentas a falta de recursos. Además, esto explica también los clics del ratón y las entradas del teclado que no se procesan inmediatamente, sino que responden con un retardo significativo.

En relación con el rendimiento de la red, ya que la CPU está sobrecargada, está afectando negativamente a la red también. Aunque no se han registrado pérdidas de cobertura, no se descarta la probabilidad de pérdida de información transmitida. En la figura 27, se puede observar el rendimiento de red más detalladamente.

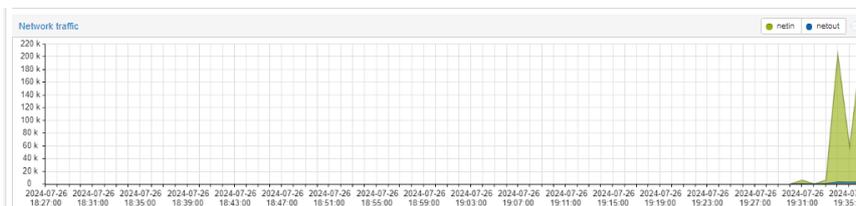


Figura 27. Gráfica correspondiente al tráfico de red captado de la máquina virtualizada con Ubuntu

Se observan picos importantes en el tráfico entrantes, correspondiente a la carga de la página web de la UPV. Estos picos alcanzan 220 Kbps, lo que corresponde con una tasa de transmisión bastante baja. La página web correspondiente a la de UPV con contenido multimedia, necesita más recursos de los que se dispone para procesar un rendimiento eficientemente.

7.2.4 Características del sistema operativo Xubuntu

Xubuntu es una distribución basada en Ubuntu pero con el entorno de escritorio Xfce, lo que la hace especialmente ligera y apta para dispositivos con hardware menos potente. Xfce ofrece un diseño sencillo, que está realizado para ser rápido y ligero, sin sacrificar demasiado la apariencia visual o la funcionalidad. Xubuntu está optimizado para sacar un gran rendimiento de los recursos de hardware, especialmente en computadoras con recursos limitados [25].

Dado que Xfce es más ligero, Xubuntu puede tener una menor actividad de E/S en el disco, lo que podría traducirse en un menor consumo de IOPS (Operaciones Por Segundo). Para un rendimiento adecuado de Xubuntu como interfaz de usuario, se recomienda tener como mínimo 1GB de RAM para instalaciones físicas. Por otro lado, se recomienda disponer de al menos 20GB de espacio en el disco.

Para realizar la prueba de este trabajo, se puede ver en el lado izquierdo superior de la figura 28, que se han asignado los siguientes recursos:

- 1 núcleo en la CPU
- 32 GB de espacio

Seguidamente, al ver que se cumplen las condiciones de los recursos mínimos asignados, el rendimiento de la máquina virtual debería de ser buena. Igualmente, se puede apreciar que se denota en color rojo, lo que significa que en el momento de la captura se han estado utilizando casi todos los recursos disponibles.



Figura 28. Captura del estado de la máquina virtual con Xubuntu en el momento de navegación por internet.

7.2.5 Métricas de la máquina virtual Xubuntu de Proxmox

A continuación, se comentarán las métricas que aparecen en la figura 28. En este caso, tal y como se ha comentado en el caso de Ubuntu, la captura se ha realizado en el momento de navegación por la página web de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en Firefox.

En la figura 29 se presentan con mayor detalle las métricas capturadas durante la prueba realizada en la máquina Xubuntu. Una de las primeras métricas que se destaca es el tráfico de red, donde se puede observar un pico significativo de 800 kbps. Esta cifra es especialmente alta, lo que demuestra un rendimiento de red relativamente mejor que en Ubuntu.

Desde el punto de vista del usuario, la navegación ha sido más rápida y fluida en comparación con Ubuntu. Al acceder a la misma página web en Firefox, Xubuntu ha cargado el sitio web de manera más eficiente y rápida.

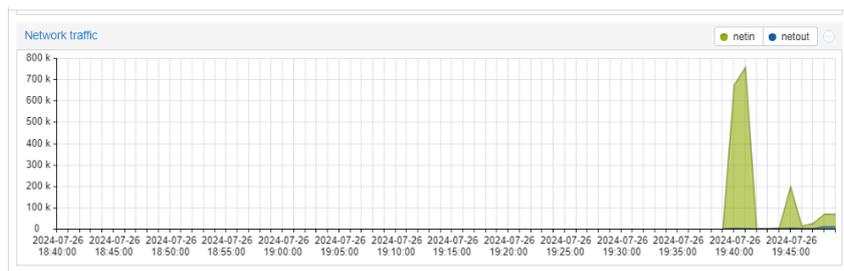


Figura 29. Gráfica correspondiente al tráfico de red captado de la máquina virtualizada con Xubuntu.

7.2.6 Análisis de las diferencias claves entre Ubuntu y Xubuntu

En comparación con Ubuntu, la interfaz gráfica de usuario de Xubuntu se destaca por su simplicidad y eficiencia. Xubuntu utiliza un entorno de escritorio ligero y rápido, diseñado con menos efectos visuales. Por ello usa un menor consumo de memoria y CPU.

La ligereza de Xubuntu no solo se refleja en su interfaz, sino también en el rendimiento general del sistema. Por ejemplo, al consumir menos recursos, Xubuntu permite que las aplicaciones y procesos tengan más capacidad de respuesta. Este ahorro de recursos se nota particularmente en el rendimiento de red, donde se ha observado que Xubuntu puede mantener velocidades superiores a Ubuntu, como los 800 kbps mencionados anteriormente, lo que es especialmente útil en entornos donde el rendimiento de red es importante.

Además, Xubuntu viene con un conjunto más básico de aplicaciones preinstaladas en comparación con Ubuntu. Algunas herramientas, como un calendario, no están incluidas por defecto, por lo cual destaca en ligereza. Igualmente, el sistema permite al usuario personalizar su entorno de trabajo e instalar las aplicaciones que le interesen. Por otro lado, las actualizaciones en Xubuntu suelen ser menos frecuentes en comparación con Ubuntu. Esto significa que los usuarios de Xubuntu pueden disfrutar de un sistema que requiere menos mantenimiento constante.

En resumen, la experiencia de usar Xubuntu en una máquina virtual, como las que se ejecutan en Proxmox, ha demostrado que este sistema operativo ofrece un mejor rendimiento de red y respuesta general del sistema. La combinación de un entorno de escritorio más ligero y un menor consumo de recursos permite que las tareas se ejecuten de manera más ágil y eficiente. Seguidamente, Ubuntu con un entorno más complejo, sería más adecuado para las virtualizaciones con menos limitaciones respecto a los recursos.

Capítulo 8. Conclusiones y propuesta para un futuro trabajo

En este trabajo de fin de grado “Virtualización de un hipervisor de tipo 1 sobre un hipervisor de tipo 2: implementación y optimización utilizando un hardware limitado” se ha explorado el funcionamiento de la virtualización, específicamente en la implementación de Proxmox dentro de VirtualBox. Se ha comprobado que es posible proporcionar más funcionalidades de las que dispone un hardware limitado mediante el uso de otra tecnología.

El principal objetivo de este estudio fue entender y familiarizarse con el hipervisor de tipo 1 Proxmox. Asimismo, se ha querido encontrar una solución para obtener la conexión a internet desde las máquinas virtuales instaladas en este hipervisor. En los procesos realizados para el cumplimiento del objetivo, se ha descubierto la complejidad de la configuración de redes virtuales, las configuraciones de red disponibles tanto en Proxmox como en VirtualBox. Asimismo, se ha trabajado en la optimización de estas para un funcionamiento eficiente del sistema entero elaborado.

Tras realizar múltiples pruebas configurando de formas diferentes tanto Proxmox, VirtualBox como las máquinas virtuales, para lograr el objetivo propuesto y obtener un funcionamiento eficiente, se ha trabajado en varios temas. Por un lado, se ha visto el funcionamiento de los diferentes modos de red, con el propósito de mejorar la interacción que existe entre la red y los dispositivos físicos. Por otro lado, se ha realizado la interpretación de los gráficos del rendimiento disponibles en Proxmox, para perfeccionar la toma de decisiones y configurar los diferentes sistemas operativos optimizando los recursos.

Finalmente, se ha llevado a cabo una investigación del impacto de los sistemas operativos en el rendimiento de las máquinas virtuales. Se ha comprobado la importancia de cumplir con los requisitos mínimos del sistema operativo necesarios para asegurar un rendimiento adecuado. Del mismo modo, se ha analizado el rendimiento de la red, que a su vez varía según el sistema operativo y las configuraciones de este.

Como consecuencia del trabajo realizado se ha conseguido cumplir con varios retos que han ido surgiendo, lo que ha permitido explorar la empleabilidad de la virtualización y de los procesos involucrados. La virtualización permite reducir la necesidad de hardware físico adicional, contribuyendo a la sostenibilidad y a futuros avances tecnológicos.

A modo de propuesta para posibles mejoras del trabajo, se puede considerar otra forma de monitorizar el rendimiento del sistema mediante una herramienta como Grafana, mediante el uso de una base de datos como Influxdb. Esto permitirá obtener una gestión eficaz de datos provenientes de Proxmox y una visión del rendimiento en tiempo real más compleja y detallada.

Capítulo 9. Bibliografía.

[1] Casado, F. “*OpiniónLa revolución de la virtualización de escritorios (VDI): transformando el futuro del trabajo*” (2023).

<https://www.muycomputerpro.com/2023/12/12/la-revolucion-de-la-virtualizacion-de-escritorios-vmi-transformando-el-futuro-del-trabajo>

[2] Montoya Gago, B. “*Las ventajas de la virtualización de la red*” (abril 2022).

<https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/las-ventajas-de-la-virtualizacion-de-la-red/>

[3] Cloudmasters. “*La revolución de virtualizar*” (6 de mayo 2020).

<https://www.cloudmasters.es/virtualizacion-y-contenedores/>

[4] Alcarón, J. M. “*Windows 10: qué son Hyper-V, Virtual Machine Platform y Windows Hypervisor Platform*” (noviembre 2020).

<https://www.jasoft.org/Blog/post/windows-10-que-son-hyper-v-virtual-machine-platform-y-windows-hypervisor-platform>

[5] Rivera J. “*¿Es el hypervisor y las máquinas virtuales efectivas contra el malware?*” (enero 2023)

<https://bothrops.net/es-el-hypervisor-y-las-maquinas-virtuales-efectivas-contra-el-malware/>

[6] Amazon. “*¿Qué es un hipervisor?*”.

<https://aws.amazon.com/es/what-is/hypervisor/#:~:text=Un%20hipervisor%20es%20un%20software,operativo%20y%20de%20aPLICACIONES%20PROPIOS>

[7] Proxmox vs ESXi: Side-by-Side (mayo 2024).

<https://www.wundertech.net/proxmox-vs-esxi/>

[8] IBM (International Business Machines Corporation). *Hypervisores*.

<https://www.ibm.com/mx-es/topics/hypervisors>

[9] Tecnozero. *Proxmox vs vmware*.

<https://www.tecnozero.com/vmware/proxmox-vs-vmware/#:~:text=Si%20necesitas%20una%20soluci%C3%B3n%20altamente,podr%C3%ADa%20ser%20la%20mejor%20opci%C3%B3n>

[10] Wikipedia. *Kernel-based Virtual Machine* (enero 2024).

https://es.wikipedia.org/wiki/Kernel-based_Virtual_Machine

[11] Wikipedia. *LXC* (agosto 2024).

<https://es.wikipedia.org/wiki/LXC>

[12] Proxmox. *Guía de administración de Proxmox* (noviembre 2023).

<https://www.proxmox.com/images/download/pve/docs/pve-admin-guide-8.1.pdf>

[13] Fernández Y. *USB bootable* (agosto 2019).

<https://www.xataka.com/basics/usb-bootable-que-mejores-programas-para-windows-linux-macos>

[14] Riseño Valle, M. y Navarro Martínez, F. “*Instalación Proxmox*”.



<https://redesaprendiendo.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/12/instalacion-y-configuracion-de-proxmox-autoguardado-1.pdf>

[15] *Arquitectura de Computadores II - Memoria virtual- UPC.*

[16] “*Configuring Virtual Machines*”.

<https://www.virtualbox.org/manual/ch03.html>

[17] CAVSI. *Adaptador de red.*

<https://www.cavsi.com/espanol/blog/que-es-un-adaptador-de-red/>

[18] De Luz, S. *Opciones de red en las máquinas virtuales de VirtualBox* (mayo 2024).

<https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/configuracion-red-maquina-virtual-virtualbox/>

[19] VirtualBox. “*Virtual Networking*”.

<https://www.virtualbox.org/manual/ch06.html>

[20] Mar de Cádiz, I. “*Modo: Sólo-anfitrión*”.

https://www.fpgenred.es/VirtualBox/modo_sloanfitrin.html

[21] Microsoft. *Conmutador virtual de Hyper-V* (abril 2023).

<https://learn.microsoft.com/es-es/windows-server/virtualization/hyper-v-virtual-switch/hyper-v-virtual-switch>

[22] Evolution. “*¿Cómo arreglar el problema de AMD-V o Hyper-V cuando está deshabilitado en la BIOS - Forma rápida y fácil?*”.

https://archivos.futurasmus-knxgroup.org/descargas/evolution/HowToFix_BIOS_AMD_V_ES.pdf

[23] Uvarov, A.S. *Configurar una red en el entorno virtual de Proxmox* (octubre 2019).

https://interface31.ru/tech_it/2019/10/nastraivaem-set-v-proxmox-ve.html

[24] Ubuntu. *Installation/SystemRequirements.*

<https://help.ubuntu.com/community/Installation/SystemRequirements>

[25] García de Zúniga, F. “*¿Qué es Xubuntu y qué requisitos de sistema tiene?*”.

<https://www.arsys.es/blog/que-es-xubuntu-y-que-requisitos-de-sistema-tiene>