

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE *ROUTER*  
INALÁMBRICO EN *LINUX* PARA ASEGURAR LAS CONEXIONES  
DE DATOS DE DISPOSITIVOS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

**LEONI BRANDO TIPÁN ROBLERO**

**DIRECTOR: LEANDRO ANTONIO PAZMIÑO ORTIZ**

**DMQ, agosto 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, Leoni Brando Tipán Roblero 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.



---

**LEONI BRANDO TIPAN ROBLERO**

**leoni.tipan@epn.edu.ec**

**leo.ni1995@hotmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Leoni Brando Tipán Roblero, bajo mi supervisión.



---

**LEANDRO ANTONIO PAZMIÑO ORTIZ**

**DIRECTOR**

**leandro.pazmino@epn.edu.ec**

## 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.



Leoni Brando Tipán Roblero

1725748576

## **DEDICATORIA**

La implementación y desarrollo de este proyecto se lo dedico a mis seres queridos concretamente a mi padre Luis Alfonso Tipán Guerra, a mi madre Blanca Marina Roblero Vega, a mis hermanos Juan Pablo Freire Roblero, Diana Cristina Freire Roblero y Anthony Alejandro Roblero Vega por su cariño y apoyo incondicional dentro de mi vida personal y también en el ámbito de la superación estudiantil, siendo pilares que llevare toda la vida, también se lo dedico a una persona muy querida llamada Verónica Andrade que con su cariño y comprensión me ha brindado fuerzas en los momentos difíciles, además a mis dos grandes amigas que se convirtieron en mi otra familia Evelyn Hidalgo y Nathaly Semblantes cuyos consejos me ayudaron a ser una mejor persona, finalmente quisiera incluir a tres seres queridos de los cuales dos ya no están conmigo, mis mascotas crash, coco y coky puesto que su compañía fue indispensable tanto en las solitarias noches de estudio como en los momentos de alegría. Este logro tan grande de culminar una carrera universitaria se lo dedico a ustedes de todo corazón.

## **AGRADECIMIENTO**

Declaro un agradecimiento gigantesco a todos los profesionales que me brindaron sus conocimientos durante mi proceso de aprendizaje y por su gran labor en épocas difíciles como la pandemia, además quisiera agradecer a mi tutor de tesis el Ing. Leandro Pazmiño que nunca escatimo en brindarme consejos y asesoría para culminar de manera correcta el desarrollo del proyecto. Finalmente, quiero agradecer a mis compañeros de universidad por brindarme su amistad, apoyo y conocimiento.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	10
1.1 Objetivo general.....	11
1.2 Objetivos específicos .....	11
1.3 Alcance.....	11
1.4 Marco Teórico.....	11
<i>Router</i> .....	11
<i>Raspberry Pi</i> .....	12
OpenWRT.....	12
VPN.....	13
OpenVPN .....	13
SSH.....	13
PuTTY.....	13
Driver.....	14
2 METODOLOGÍA.....	14
3 RESULTADOS .....	15
3.1 Identificación de los requerimientos para el diseño del prototipo de <i>router</i> ...	15
Utilización de un microordenador portable .....	15
Aseguramiento del tráfico de los dispositivos conectados.....	15
Capacidad de conectarse y brindar conexión a Internet.....	15

Configuración sencilla.....	16
3.2 Selección del <i>hardware</i> requerido para el prototipo de <i>router</i> .....	16
Microordenador seleccionado para el prototipo.....	16
Comparativa entre las versiones del microordenador .....	16
Protección seleccionada para el prototipo.....	18
3.3 Selección del <i>software</i> para el prototipo de <i>router</i> .....	21
Selección del sistema Operativo .....	21
Selección del <i>software</i> para crear una <i>microSD</i> booteable .....	22
Selección del <i>software</i> para acceder de manera remota.....	22
Selección de <i>VPN</i> para asegurar el tráfico de datos .....	23
3.4 Implementación del prototipo de <i>router</i> .....	23
Esquema general del prototipo .....	23
Instalación de los elementos de protección en la <i>Raspberry Pi 3B+</i> .....	24
Instalación del sistema operativo .....	26
Configuración de OpenWrt .....	26
Instalación del adaptador de red.....	30
Instalación de la <i>VPN</i> .....	32
3.5 Realización de pruebas de funcionamiento del prototipo de <i>router</i> .....	34
Pruebas de conexión a la red del <i>router</i> inalámbrico.....	34
Pruebas de funcionamiento del servicio de <i>VPN</i> .....	36
Pruebas de velocidad de Internet .....	37
Demostración de la funcionalidad del prototipo.....	38
Mantenimiento del prototipo.....	38
Costos de implementación del prototipo .....	38
4 CONCLUSIONES .....	39
5 RECOMENDACIONES.....	41
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
7 ANEXOS.....	48
ANEXO I: Certificado de Originalidad.....	i

ANEXO II: Enlaces..... ii



# RESUMEN

En la sección uno se presenta una breve descripción del desarrollo del proyecto, después se plantea el objetivo general del cual se derivan los objetivos específicos que se deben lograr al momento de implementar el proyecto. Además, se describe el alcance del proyecto cuyo enfoque está en brindar seguridad a los datos que se transmiten por medio de la red. Por lo tanto, se desarrollan distintos conceptos fundamentales considerados para la implementación del prototipo tales como el *router*, el microordenador *Raspberry Pi*, *VPN*, *SSH*, entre otros cuyo conocimiento es importante para comprender el funcionamiento del proyecto y por ende lograr su correcta implementación.

En la segunda sección se describe la metodología utilizada para desarrollar proyecto, englobando de manera breve el procedimiento a seguir para desarrollar de manera exitosa los requerimientos de los objetivos específicos planteados desde el inicio al final del proyecto.

En la sección tres llamada resultados, se identifican los requerimientos necesarios para cumplir con el proyecto tales como el *hardware* y *software*, en otras palabras, se detalla los elementos seleccionados como el microordenador, protección del microordenador, tarjeta de red inalámbrica *USB* y además el *software* que permite brindar las características necesarias para que el microordenador funcione como un *router* inalámbrico que permitiera brindar seguridad al tráfico que circula a través del mismo mediante el uso de una *VPN*, para después demostrar los resultados mediante pruebas de funcionamiento.

En la sección cuatro se describen las conclusiones obtenidas de los resultados y las recomendaciones, cada una en base a los objetivos específicos declarados anteriormente.

Finalmente se presentó una serie de Anexos en los cuales se encontraban el link al video de funcionamiento y de mantenimiento, además de información que sirviera como ayuda para el correcto entendimiento del funcionamiento del prototipo.

**PALABRAS CLAVE:** *Raspberry Pi*, *VPN*, *OpenWrt*, *Router*, Microordenador.

## ABSTRACT

*Section one presents a brief description of the development of the project, then the general objective from which the specific objectives to be achieved at the time of implementing the project are derived. In addition, the scope of the project is described, the focus of which is to provide security for the data transmitted over the network. Therefore, different fundamental concepts considered for the implementation of the prototype are developed, such as the router, the Raspberry Pi microcomputer, VPN, SSH, among others, whose knowledge is important to understand the operation of the project and therefore achieve its correct implementation.*

*The second section describes the methodology used to develop the project, briefly describing the procedure to follow to successfully develop the requirements of the specific objectives set from the beginning to the end of the project.*

*Section three, called results, identifies the requirements necessary to fulfill the project such as hardware and software, in other words, it details the selected elements such as the microcomputer, microcomputer protection, USB wireless network card and also the software that allowed to provide the necessary features for the microcomputer to function as a wireless router that would provide security to the traffic flowing through it through the use of a VPN, and then demonstrate the results through performance tests.*

*Section four describes the conclusions obtained from the results and recommendations each based on the specific objectives stated above.*

*Finally, a series of Annexes were presented in which the link to the operation and maintenance video was found, as well as information that could be used as an aid for the correct understanding of the operation of the prototype.*

**KEY WORDS:** *Raspberry Pi, VPN, OpenWrt, Router, Microcomputer. VPN*

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Desde la creación del Internet las tecnologías de la información han evolucionado cada día a nivel global, como consecuencia las telecomunicaciones se han sumado a como parte indispensable del diario vivir de las personas y por ende en una necesidad más. La importancia de estas telecomunicaciones se vio reflejada en la pandemia en donde gracias al Internet, se logró desarrollar la vacuna contra el covid-19 en tiempo récord, además de que gran parte de la población pudo llevar su ciclo de aprendizaje y trabajo de manera virtual gracias a las telecomunicaciones.

Claramente las tecnologías de la información han traído muchos beneficios a la sociedad, pero se conoce que acarrearán varios problemas a la seguridad de la información personal, puesto que la información que viaja a través de la red puede ser usada para varios fines tales como vender los datos obtenidos a empresas de publicidad o que esta información sea utilizada por *hackers* con malas intenciones. Además, esto se vuelve un factor crítico cuando existe la creciente necesidad de la sociedad a conectarse en todas partes cuando se trasladan fuera de su hogar.

Por este motivo es muy clara la necesidad de crear un dispositivo que brinde seguridad a los datos que viajen a través de él, que sea fácil de configurar y además que garantice su portabilidad, por lo tanto, el proyecto en cuestión trata de la implementación de un prototipo de *router* inalámbrico en *Linux* que permita asegurar la información de los dispositivos que estén conectados de manera inalámbrica o cableada al mismo.

Para ello se utiliza un dispositivo llamado *Raspberry Pi* concretamente la versión *Raspberry Pi 3B+* en el cual se realiza la instalación de un sistema operativo basado en *Linux*; para esta implementación se utiliza el *software OpenWRT* el cual está respaldado por una *Generic Public Licence (GPL)*, mediante este *software* se realizan las respectivas configuraciones para que el prototipo cumpla las funciones de un *router* inalámbrico, además para garantizar que la red brinde seguridad al tráfico de datos que circula a través de la misma, se utilizará una *Virtual Private Network (VPN)*, lo que brindará mayor flexibilidad al momento de conectarse a otras redes y tener la misma seguridad que brinda una red local con la adición de que el tráfico que viaje por la red estará encriptado.

De este modo se obtendrá la confidencialidad y seguridad del tráfico de la red, tales como datos personales que puedan ser usados de manera maliciosa, claves o incluso credenciales bancarias.

## 1.1 Objetivo general

Implementar un prototipo de *router* inalámbrico en *Linux* para asegurar las conexiones de datos de dispositivos.

## 1.2 Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos para el diseño del prototipo de *router*.
- Seleccionar el hardware requerido para el prototipo de *router*.
- Seleccionar el *software* para el prototipo de *router*.
- Implementar el prototipo de *router*.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de *router*.

## 1.3 Alcance

Por medio del presente proyecto se busca implementar un prototipo de *router* inalámbrico que permita asegurar el tráfico de las redes internas conectadas a través de él, permitiendo:

- Que varios dispositivos se conecten de manera inalámbrica o cableada a la red por medio del *router* para tener acceso a Internet, permitiendo así asegurar todo el tráfico.

Minimizar los riesgos de ataques o recopilación de información cuando se conecta a Internet con algún dispositivo en lugares desconocidos, como por ejemplo redes *Wi-Fi* de aeropuertos, hoteles, etc.

## 1.4 Marco Teórico

### ***Router***

Es un dispositivo relacionado con las redes de Internet específicamente en el enrutamiento de los datos que se transmiten por medio de la red, es decir es el encargado de administrar y direccionar el tráfico que viaja dentro de una red de computadoras mediante protocolos de enrutamiento. Los *routers* hacen uso de dispositivos dedicados específicamente para su función, pero también se puede crear un *router* con una computadora común.

La mayoría de *routers* se fabrican con varios puertos para una red de área local y un puerto *Ethernet* para dar acceso a Internet al *router*. Además, existen *routers*

inalámbricos que cuentan con conectividad *Wi-Fi* para dar conexión a dispositivos conectados de manera inalámbrica [1].

### ***Raspberry Pi***

*Raspberry Pi* es un microordenador el cual se caracteriza por sus pequeñas dimensiones, fue diseñado con la finalidad de acercar a la informática a gran cantidad de usuarios y permitirles crear proyectos tecnológicos e informáticos sin restricciones puesto que funciona con sistemas operativos basados en *software* libre *Linux*, además de tener un bajo costo al alcance del presupuesto de gran cantidad de usuarios [2].

El *Raspberry Pi* posee varias versiones en las cuales se ha ido mejorando sus características y capacidades conforme avanza su tecnología, de las cuales existen las siguientes versiones: *Raspberry Pi* modelo 1, modelo 2 B, modelo 3 B, modelo 3 B+ y modelo 4 B, entre otras [2].

Varios de los elementos característicos de un *Raspberry Pi* son los siguientes:

- Puerto para *microSD*.
- Memoria *RAM*.
- Puerto *Ethernet*.
- *Bluetooth*.
- Sistema en chip *BroadCom*.

Dependiendo de la versión estas características se acoplan a las tecnologías más actuales, por ejemplo, desde la versión 3B+ incluye conectividad *Wi-Fi* y desde la versión 4B la memoria *RAM* aumenta hasta 8 (GB) [2].

### **OpenWRT**

*OpenWRT* es un sistema operativo basado *Linux* y se utiliza para editar y configurar el *firmware* de un *router* por medio de una interfaz *web* o por medio del *Command Line Interface (CLI)*, de este modo se puede optimizar un *router* doméstico realizando ciertas modificaciones a las opciones de fábrica [3].

Este *software* ocupa poca cantidad de memoria puesto que pesa solo 2 (MB) y requiere una capacidad de procesamiento de tan solo 300 (MHz) para su funcionamiento lo que lo vuelve compatible con la mayoría de *routers* existentes y dependiendo de las capacidades del *router* se puede usar para más aplicaciones como:

- Transferir tareas del ordenador para que las cumpla el *router*.
- Crear un servidor de impresión.

- Usar una *Virtual Private Network* (VPN) para brindar seguridad y flexibilidad de conectividad.
- Servidor para cliente *Bittorrent*.

## **VPN**

La red privada virtual es una técnica que sirve para conectar a una red privada una o varias computadoras. Este tipo de redes son usadas por empresas para permitir la conexión de sus empleados o colaboradores desde lugares lejanos a la empresa, de este modo pueden acceder a información y recursos de dicha empresa que por medio de una red normal no podrían [4].

También se utilizan para acceder a contenidos multimedia o páginas *web* que estén bloqueadas por derechos de autor en una región específica. Además, brinda las ventajas de una red local sin la necesidad de tener conexión física a la misma si no por medio de Internet y también encripta el tráfico que circula a través de ella. [4].

## **OpenVPN**

Es una aplicación que utiliza varios protocolos y técnicas de *VPN* para brindar seguridad a las conexiones punto a punto, es considerado uno de los protocolos *VPN* más usados en la actualidad gracias a que es la única *VPN* de código abierto [5].

Este protocolo funciona como un túnel el cual brinda seguridad a conexiones entre *hosts* y el servidor *VPN*, además maneja protocolos de cifrado y autenticación mediante una biblioteca conocida como *OpenSSL* de 256 (Bits) lo que la convierte en una biblioteca bastante extensa y difícil de descifrar [5].

*OpenVPN* es capaz de usar tipos de cifrados bastante sólidos como: *AES*, *3DES*, *Blowfish*, o *Camellia* [5].

## **SSH**

Es el nombre que se le da al protocolo de conexión remota mediante un canal seguro, esto es posible gracias a que utiliza un mecanismo de autenticación para verificar el usuario que desea conectarse de manera remota, lo que garantiza la transferencia de datos sin pérdida de información o modificación de la información por parte de *hackers* [6].

## **PuTTY**

Teletipo de puerto único o por sus siglas en inglés *PuTTY*, es una aplicación que simula un terminal *open source* y se utiliza para conexiones seguras de manera remota por medio de protocolos como *SSH*, *RAW TCP*, *Rlogin* o *Telnet*, para acceder de manera

remota es necesario conocer el usuario y dirección IP del equipo al cual se desea acceder [7].

### ***Driver***

Un *driver* o también conocido como controlador es un *software* encargado de manejar un periférico conectado a un ordenador tales como: *ratón*, cámara, *USB*, teclado, micrófono, parlantes, video, etc. Estos hacen el papel de puente entre un periférico y una aplicación en específico permitiendo que interactúen entre sí. Varios de los controladores se instalan automáticamente al momento de conectar el periférico a esto se le conoce como *Plug and Play*, pero algunos controladores no siempre son compatibles con el *software* o el *hardware* a los que están instalados por lo que en ocasiones se suele instalar los controladores de manera manual [8].

La instalación del controlador dependerá del sistema operativo que maneje el ordenador, por ejemplo. En varios sistemas *Linux* los controladores se instalan realizando una actualización del sistema por medio de comandos y en el caso de *Windows* varios controladores deben ser instalados por medio de un *CD* que suele venir incluido al adquirir un periférico o descargándolos desde Internet [8].

## **2 METODOLOGÍA**

Se realizó un análisis para identificar las funcionalidades que el prototipo de *router* debe cumplir en función de lo cual se perfilaron los requerimientos mínimos de *hardware* y *software* que se necesitarán para el diseño del prototipo del *router*. Además, con base en los requerimientos identificados se realizó un análisis para determinar los elementos de *hardware* que se van a necesitar para la implementación del prototipo en donde se realizó una comparación entre distintas versiones de *hardware*, además de seleccionar elementos adicionales que garanticen la operatividad continua del prototipo esta comparación se realizó en base a parámetros como características técnicas, precio, facilidad de uso, compatibilidad, tamaño, etc.

También conforme a los requerimientos del prototipo se analizaron diferentes sistemas operativos para determinar el más adecuado para el desarrollo del prototipo. Una vez seleccionado el sistema operativo se procedió a investigar y seleccionar los aplicativos o programas adicionales requeridos para el prototipo del servidor, en adición, se realizó un esquema en donde el prototipo incluido los elementos adicionales deberán ser explicados.

Finalmente, una vez terminada la implementación del prototipo de *router* se procedió a realizar pruebas de funcionamiento que permitan validar el correcto desempeño del prototipo. Los resultados obtenidos de las pruebas se emplearon para subsanar errores

en el caso de que estos existan y de esta manera se garantizó que el prototipo cumpla con todos los requerimientos.

### **3 RESULTADOS**

En esta sección se detalla de forma clara los requerimientos para el prototipo solicitado, además de implementación y pruebas de funcionamiento del prototipo.

#### **3.1 Identificación de los requerimientos para el diseño del prototipo de *router***

Los requerimientos han sido identificados acorde a la necesidad de desarrollar un prototipo de *router* inalámbrico que garantice la seguridad del transporte de datos de dispositivos conectados a través de este, sean de manera inalámbrica o cableada, además debe ser portátil para utilizarlo en redes *Wi-Fi* de lugares desconocidos como: hoteles, bares, restaurantes, aeropuertos, de modo que minimice los riesgos existentes al conectarse a este tipo de redes. A continuación, se describen los principales requerimientos:

##### **Utilización de un microordenador portable**

El proyecto requiere de hardware necesario para hacer las tareas de un *router* inalámbrico, también necesita ser capaz de soportar grandes horas de funcionamiento en caso de usarlo de manera local, además debe ser ligero y fácil de transportar para cumplir las características portátiles solicitadas.

Asimismo, es necesario que el *hardware* este cubierto con una carcasa para garantizar que la parte electrónica del prototipo no sufra ningún daño al ser transportado de un lugar a otro y también necesitará un sistema de disipación de calor en caso de que el prototipo deba funcionar por largas jornadas de tiempo.

##### **Aseguramiento del tráfico de los dispositivos conectados**

Para garantizar la seguridad del tráfico de los dispositivos conectados al *router* se utilizará una *VPN* que permite que la información viaje por medio de un canal cifrado, a esta técnica se la conoce como *tunneling*, por medio de este canal el tráfico viaja cifrado y la información a pesar de ser interceptada no podrá ser comprendida lo que garantiza que la información que se transmite por medio de la red esté asegurada.

##### **Capacidad de conectarse y brindar conexión a Internet**

Para permitir la conectividad de manera inalámbrica del *router* a una red *Wi-Fi* y de los dispositivos al *router*, es necesario que el *router* posea dos tarjetas de red inalámbricas



conocidas como *WNIC* mismas que pueden estar integradas a la placa o conectadas a un puerto *USB*.

Además, debe poseer una conexión para cable *Ethernet* en el caso de que se conecte un dispositivo de manera cableada o varios por medio de un *switch*.

### **Configuración sencilla**

La conexión del *router* a una red inalámbrica debe ser fácil al final de la implementación por lo que debe utilizar un *software* con interfaz *web* amigable con el usuario en donde se pueda configurar de manera fácil y sencilla la conectividad a una nueva red *Wi-Fi*.

## **3.2 Selección del *hardware* requerido para el prototipo de *router***

### **Microordenador seleccionado para el prototipo**

Para la implementación del prototipo en cuestión, se ha seleccionado un microordenador llamado *Raspberry Pi*, debido a que se ajusta a los requerimientos del prototipo tales como: puerto *Ethernet* para dar conexión a Internet a otro dispositivo y para configurarlo accediendo por medio de *SSH*, tarjeta de red inalámbrica para dar acceso a Internet a dispositivos conectados de manera inalámbrica, puertos *USB* para conectar una tarjeta de red inalámbrica *USB* adicional, compatibilidad con *software* libre basado en *Linux*, capacidad de conectar disipadores de calor y ventilador que permitirá que el equipo opere por largas jornadas sin afectar su funcionamiento, además, posee dimensiones y un peso adecuado para garantizar su portabilidad [9].

### **Comparativa entre las versiones del microordenador**

Al día de la realización de este proyecto se ha contemplado dos versiones de *Raspberry Pi* para la realización del prototipo, estas son: la *Raspberry Pi 3B+* y la *Raspberry Pi Zero WH*, estas dos versiones se tuvieron en cuenta debido a que poseen las características para que funcionen como un *router* y además ambos son compatibles con los requerimientos mínimos del *software* utilizado para el prototipo. En la Tabla 3.1 se detallan las características comparativas de cada modelo.

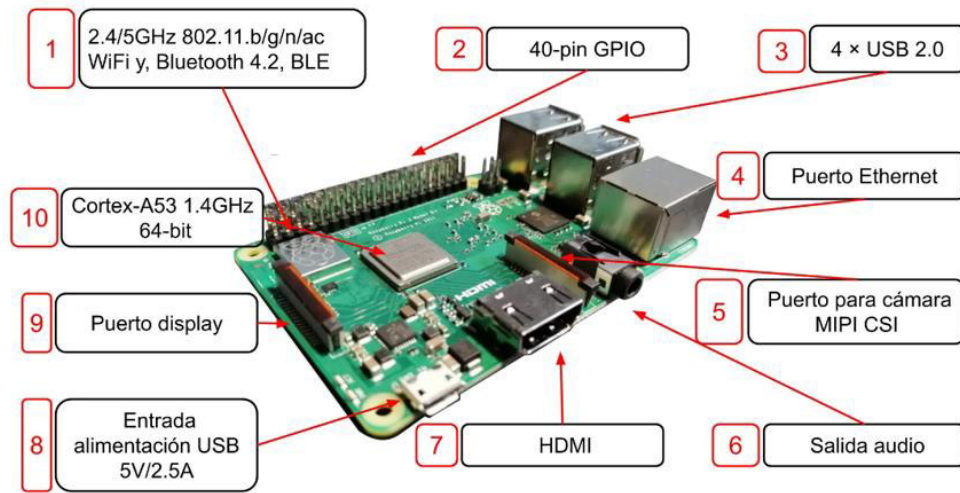
Analizando las características de los dos microordenadores, se optó por la versión *Raspberry Pi 3B+* representada en la Figura 3.1 puesto que para la realización del prototipo se requiere que pueda funcionar por largas jornadas y además procesar el tráfico de varios dispositivos conectados a la vez, por lo tanto, se identificó que esta versión del microordenador posee mejores características tales como: mayor capacidad de procesamiento puesto que cuenta con una memoria *RAM* de 1 (GB), puerto *Ethernet*

para brindar conectividad a dispositivos conectados de manera cableada a través del mismo.

A pesar de que la versión *Raspberry Pi Zero W* es más económica y el *software* utilizado es compatible con esta versión, no posee un puerto *Ethernet* el cual es necesario para dar conectividad de manera cableada a otros dispositivos, además que al momento de configurarlo será necesario una pantalla *HDMI*, un adaptador especial para mini *HDMI* y un adaptador micro *USB* para la tarjeta de red inalámbrica, además al contar con solo un puerto micro *USB* dificultará su configuración teniendo que desconectar la tarjeta de red inalámbrica para conectar un teclado, finalmente se seleccionó el *Raspberry Pi 3B+* por que posee una tarjeta de red inalámbrica compatible con la mayoría de estándares IEE 802.11 de conectividad inalámbrica de 2.4 (GHz) [10].

**Tabla 3.1** Comparación entre *Raspberry Pi 3B+* y *Raspberry Pi Zero W* [11] [12]

Detalle	Raspberry Pi 3B+	Raspberry Pi Zero W
Central Processing Unit (CPU)	BCM2837B0 Broadcom Cortex A53 quad core	BCM2835 Broadcom ARM1176JZF-S
Clock Rate	1.4 (GHz)	1 (GHz)
RAM	1 (GB)	512 (MB)
Conexión Inalámbrica	WNIC 2.4 (GHz) compatibilidad con IEE 802.11.b/g/n y Bluetooth 4.1	WNIC 2.4 (GHz) compatibilidad con IEEE 802.11.n Bluetooth 4.1
Puerto USB	4 puertos USB 2.0	1 puerto micro USB 2.0
Conectividad Cableada	Puerto Ethernet hasta 300 (Mbps)	No dispone
Puerto de video	1 puerto HDMI	1 puertos mini HDMI
Precio oficial en dólares incluido impuesto al valor agregado (IVA)	1 (GB) RAM 47.88 (\$)	512 (MB) RAM 16.65 (\$)
Disponibilidad	Menor	Mayor



**Figura 3.1** *Raspberry Pi 3B+* [10]

### Protección seleccionada para el prototipo

Debido a que el *Raspberry Pi* será trasladado de un lugar a otro es necesario que cuente con un *case* que brinde protección a la parte electrónica del microordenador. El *case* seleccionado se aprecia en la Figura 3.2 puesto que es un modelo de *case* específicamente diseñado para un *Raspberry Pi 3B+* [13].



**Figura 3.2** *Case para Raspberry Pi 3B+* [13]

También el dispositivo necesita funcionar por largas jornadas en el caso de que se lo utilice de manera local, por lo que se ha optado por utilizar un mini ventilador con alimentación de 5 (VDC) mismo que se observa en la Figura 3.3 el cual se encarga de enfriar la placa del microordenador. Además, se alimenta mediante los pines del *General Purpose Input/Output (GPIO)* del *Raspberry Pi 3B+* [14].



**Figura 3.3** Ventilador *WEIYIXING* [14]

Para garantizar que el calor generado en el microcontrolador de *USB* y el procesador se disipe correctamente, se utiliza dos disipadores de calor de aluminio mismos que se aprecian en la Figura 3.4, estos están diseñados específicamente para microordenadores [15].



**Figura 3.4** Disipadores de calor de aluminio [15]

Para alimentar con energía la placa y sus componentes es necesario una fuente de alimentación de 5 (VDC) con conector micro *USB* la cual se indica en la Figura 3.5, esta fuente de alimentación es capaz de recibir de 100 (VAC) a 240 (VAC) de entrada y entregar 5 (VDC) y 3 (A) de salida, cabe recalcar que la Raspberry Pi desde su versión 2 cuenta con un sistema de circuitos que detectan tensiones bajas las cuales son causadas por fuentes de alimentación defectuosas, cuando la tensión cae por debajo de 4.65 (VDC) se activa una señal *GPIO* que disminuye el rendimiento de los sistemas *CPU*, *GPU* o de la memoria *RAM* [16].



**Figura 3.5** Fuente 5 (VDC) 3 (A) *Raspberry Pi* 3B+ [17]

El dispositivo *Raspberry Pi* 3B+ cuenta con una tarjeta de red inalámbrica integrada a su circuito, pero para la realización del prototipo es necesario dos tarjetas de red inalámbricas por lo cual se utiliza una tarjeta de red inalámbrica *USB* misma que se muestra en la Figura 3.6, cabe recalcar que no todas son compatibles con *Raspberry Pi*, la razón es que solo ciertos modelos tienen controladores compatibles con el microordenador [8].



**Figura 3.6** *Wi-Fi Dongle* [18]

El prototipo requiere de un sistema operativo el cual se aloja en una *microSD bootable* para ello se ha seleccionado una *microSD* marca *Kingston* con capacidad de almacenamiento de 16 (GB) de clase 10 como se observa en la Figura 3.7, es necesario usar una *microSD* clase 10 puesto que al funcionar como almacenamiento del sistema operativo debe garantizar su durabilidad, velocidad y además funcionar con sistema de archivos *File Allocation Table (FAT32)* el cual es el que admite el microordenador [19].



**Figura 3.7** *MicroSD* marca *Kingston* 16 (GB) [20]

Para instalar el sistema operativo en la *microSD bootable* se hace uso de un lector de *microSD* para conectarlo a la computadora, para este prototipo se puede usar cualquier tipo de lector de *microSD* en este caso se usó el que se aprecia en la Figura 3.8.



**Figura 3.8** Lector de *microSD USB* marca *SIYOTEAM* [21]

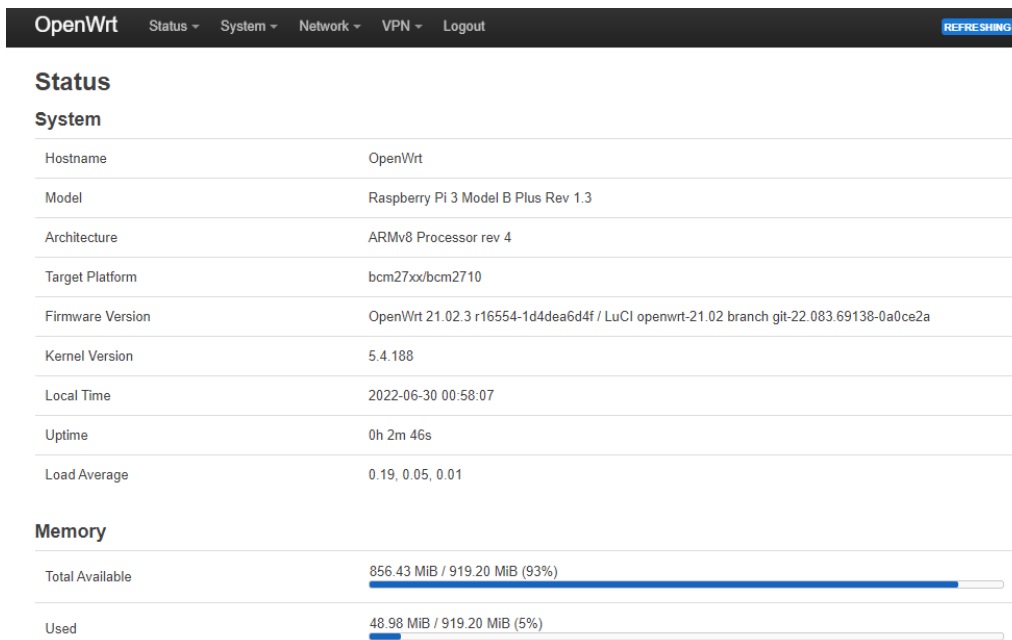
### **3.3 Selección del *software* para el prototipo de *router***

#### **Selección del sistema Operativo**

El prototipo necesita un *software* libre basado en *Linux* que permita configurar al microordenador como un *router* inalámbrico y que pueda brindar seguridad al tráfico de la red mediante el uso de una *VPN* es por ello que se ha seleccionado a *OpenWrt*. Al realizar la investigación de tipos de *software* libres basados en *Linux* que sirven para crear un *router* se encontraron los siguientes: *Fresh Tomato*, *AsusWrt Merlin DD-Wrt*, *Advance Tomato* y *OpenWrt*, de los cuales tan solo *OpenWrt* tiene soporte para la mayoría de versiones de *Raspberry Pi* entre ellas *Raspberry Pi 3B+* y *Raspberry Pi Zero WH*. Es por esa razón que se designó este sistema operativo para el prototipo [22].

Una ventaja de usar *OpenWrt* para este prototipo es que usa poco espacio de almacenamiento y funciona con *CPUs* desde 300 (MHz), es decir que la capacidad y potencia del *Raspberry Pi 3B+* es más que suficiente para que funcione este sistema operativo sin ningún problema [23].

Finalmente, una de las razones principales para elegir *OpenWrt* para este prototipo es que es capaz de ser configurado mediante *CLI* en caso de que se acceda de forma remota con *SSH* o en cualquier navegador accediendo a la interfaz *web* con la dirección IP por defecto que tiene *OpenWrt* tal como se indica en la Figura 3.9, esto facilita la conexión a una nueva red en caso de que se use de manera portátil [23].



**Figura 3.9** Interfaz *web* *OpenWrt* [24]

### Selección del *software* para crear una *microSD* booteable

*Raspberry Pi* necesita un sistema operativo para funcionar, este sistema se debe instalar en una tarjeta *microSD booteable* para que se pueda ejecutar al conectar la *microSD* en el puerto dedicado de la *Raspberry Pi*.

Por lo que se ha seleccionado la aplicación llamada *Raspberry Pi Imager*, esta aplicación al momento de ser instalada descarga de manera automática varias distribuciones de *Linux* compatibles con *Raspberry Pi*, también sirve para dar formato a la *microSD* y también permite instalar otras imágenes de sistemas operativos entre ellas *OpenWrt*. Este *software* es gratuito y además es oficial de la página *web* de *Raspberry Pi* lo que garantiza que no tendrá problemas al usarlo y que no contiene virus [25].

### Selección del *software* para acceder de manera remota

Para poder configurar el sistema operativo *OpenWrt* en base a los requerimientos del prototipo es necesario ingresar de manera remota mediante *SSH*, es por ello que se seleccionó la aplicación *PuTTY*, esta aplicación permite una conexión segura por medio de *SSH* al *Raspberry Pi* emulando un terminal de comandos. Para acceder de manera remota al *CLI* de *Raspberry Pi* en la ventana de *PuTTY*; como se indica en la Figura 3.10, se escribe la dirección IP que tiene por defecto *OpenWrt* al momento de ser instalado y se selecciona el puerto 22 [7].

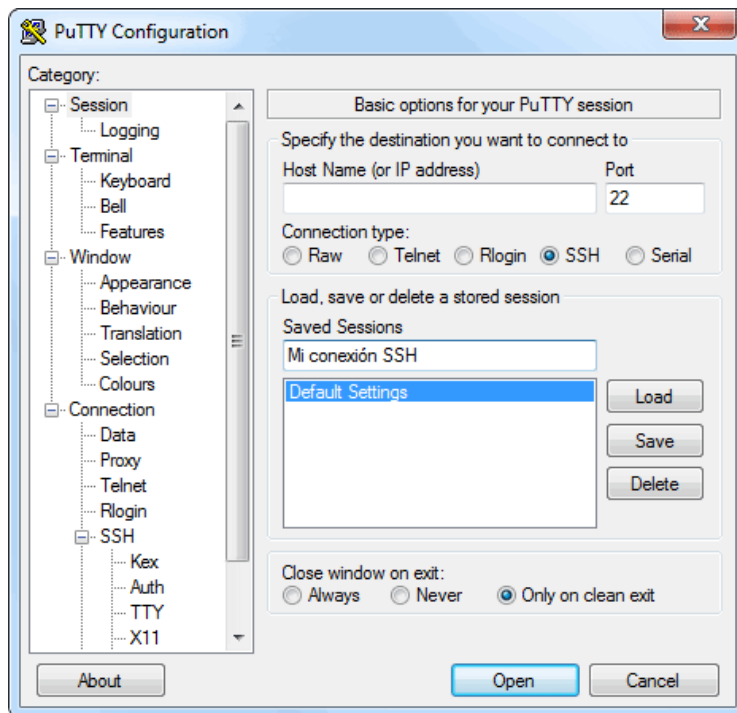


Figura 3.10 Ventana de *PuTTY* [26]

### Selección de VPN para asegurar el tráfico de datos

Para asegurar las conexiones es necesario utilizar una red privada virtual, para el desarrollo del prototipo se ha optado por utilizar una VPN gratuita. La VPN se obtuvo de una página web llamada *ProtonVPN* en donde al momento de registrarse se puede descargar el archivo de configuración de la VPN la cual utiliza el protocolo *OpenVPN* para conectarse a los servidores de *ProtonVPN* [27], este protocolo cuenta con una librería llamada *OpenSSL* de 256 (Bits) lo que la convierte en una opción bastante segura para conexiones punto a punto, además de que maneja técnicas de cifrado como *AES* o *3DES* [5].

## 3.4 Implementación del prototipo de *router*

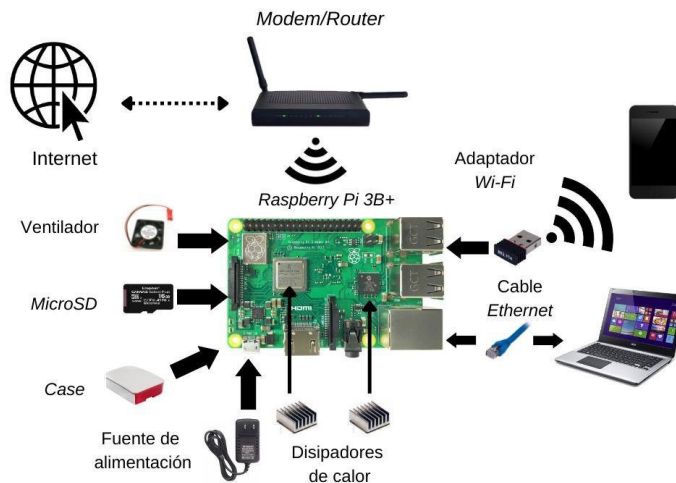
### Esquema general del prototipo

En el esquema general del prototipo se muestra cómo es el funcionamiento del proyecto, en la Figura 3.11 se puede apreciar el funcionamiento del prototipo en donde el símbolo de red *Wi-Fi* de color negro indica la emisión de la señal desde el *router* y la recepción de la señal por parte del *Raspberry Pi 3B+*, para después por medio del mismo brindar conexión inalámbrica a otro dispositivo, esta conexión está representada de igual forma por un símbolo de red *Wi-Fi* de color negro, mientras que para brindar conexión a un dispositivo de manera cableada se la ha representado por una imagen de un cable *Ethernet* el cual apunta con una flecha negra al puerto *Ethernet* tanto del *Raspberry Pi 3B+* como del dispositivo conectado.



También en el esquema se puede apreciar las partes que conforman al prototipo, las flechas negras apuntan a dónde va cada elemento montado o conectado a la *Raspberry Pi 3B+* tales como: el ventilador, los disipadores de calor, la tarjeta *microSD*, la tarjeta de red inalámbrica *USB*, fuente de alimentación, cable *Ethernet* y *case* protector.

Para poner en funcionamiento el prototipo se comienza por conectar el *Raspberry Pi 3B+* a la fuente de alimentación, después se accede a la interfaz *web* de *OpenWrt* usando un navegador *web* y la dirección *IP* de este, una vez allí se conecta a la red *Wi-Fi* mediante la clave y se activa el servicio de *VPN* lo que permitirá brindar seguridad al tráfico de datos. Después con un dispositivo conectado al microordenador de forma cableada o inalámbrica se accede a Internet. Todo el tráfico que circule desde los dispositivos conectados al *Raspberry Pi 3B+* será encriptado y viajará a su destino de manera segura.



**Figura 3.11** Esquema del funcionamiento y elementos del prototipo

### **Instalación de los elementos de protección en la *Raspberry Pi 3B+***

Se instaló dos disipadores uno en el chip controlador de *USB* y el otro en el procesador como se observa en la Figura 3.12, para poder adherir los disipadores se utilizó una cinta especial la cual ya venía adaptado en el disipador.



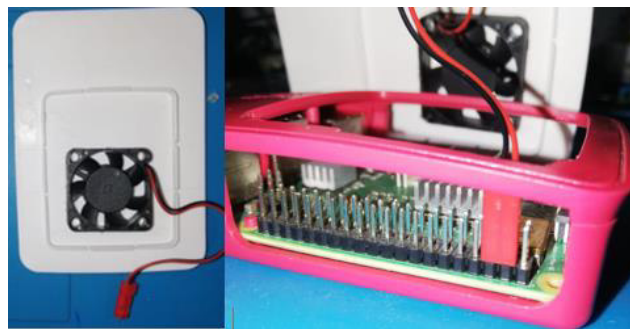
**Figura 3.12** Instalación de disipadores

Después se instaló la placa en un *case* compatible con *Raspberry Pi 3B+*, el cual cubre completamente a la placa y tiene orificios adaptados a los puertos de la placa. En la Figura 3.13, se observa la colocación en el *case*.



**Figura 3.13** Instalación del *case* protector

En la tapa superior se instaló el ventilador el cual se adhirió con silicona y posteriormente se conectó el ventilador en los pines de la placa los cuales se aprecian en la Figura 3.14.



**Figura 3.14** Instalación del ventilador

Después se colocó la tapa superior del *case* y también las tapas laterales; en la Figura 3.15 se aprecia lo antes mencionado, de este modo se protege totalmente al microordenador.



**Figura 3.15** Instalación de tapas laterales

## Instalación del sistema operativo

Para instalar el sistema operativo se conectó la tarjeta *microSD* en el lector de *microSD* y se conectó a la computadora. Después utilizando la aplicación *Raspberry Pi Imager* se procedió a formatear la tarjeta *microSD* como se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Formateo de *microSD*

Una vez formateada la *microSD* se procedió a instalar el sistema operativo *OpenWrt* utilizando *Raspberry Pi Imager*, en la opción *use custom* se seleccionó el archivo *.img.gz*, luego en la opción *storage* se selecciona la *microSD* y se procedió a instalar presionando *write* como se muestra en la Figura 3.17.

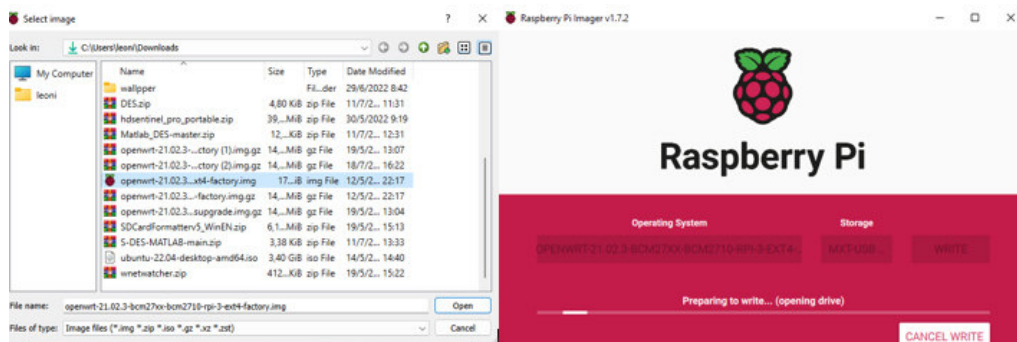


Figura 3.17 Creación de la *microSD* booteable

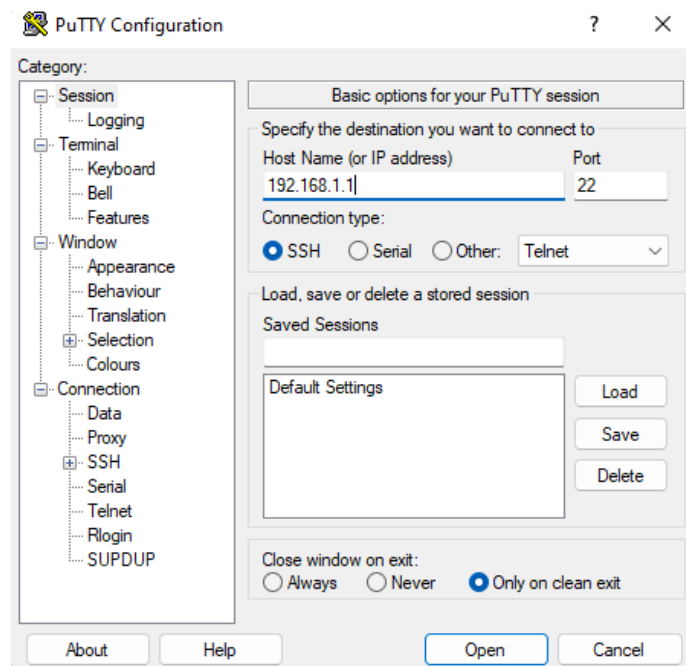
## Configuración de OpenWrt

Después de que se instaló el sistema operativo se procedió a colocar la *microSD* en el microordenador, luego se conectó la fuente de alimentación y con un cable *Ethernet* se conectó el microordenador a la computadora como se observa en la Figura 3.18.



**Figura 3.18** instalación de la *microSD* y conexión a la computadora

Una vez conectado el cable *Ethernet* se procedió a acceder al sistema del microordenador de manera remota mediante el protocolo *SSH*, para lo cual se utilizó la herramienta *PuTTY*, dentro de la herramienta se ingresó la dirección *IP* que viene por defecto al instalar *OpenWRT* la cual es 192.168.1.1, esto aprecia en la Figura 3.19.



**Figura 3.19** Acceso remoto mediante PuTTY

Al momento de acceder el usuario por defecto es *root* y no tiene contraseña, por lo que una vez dentro se declaró una nueva contraseña con el comando *passwd*, después se procedió a ingresar al directorio de configuración con el comando *cd /etc/config* y luego con el comando *ls* se observó el listado de los archivos existentes como se muestra en la Figura 3.20.



```
root@OpenWrt:/etc/config
config interface 'loopback'
    option device 'lo'
    option proto 'static'
    option ipaddr '127.0.0.1'
    option netmask '255.0.0.0'

config globals 'globals'
    option ula_prefix 'fdcc:37b6:db92::/48'

config device
    option name 'br-lan'
    option type 'bridge'
    list ports 'eth0'

config interface 'lan'
    option device 'br-lan'
    option proto 'static'
    option ipaddr '172.16.16.1'
    option netmask '255.255.255.0'
    option ip6assign '60'
    option force_link '1'

- network 1/28 3%
```

**Figura 3.22** Creación de la nueva interfaz y cambio de dirección IP

Después se procede a configurar el archivo *firewall* para que pueda aceptar los paquetes entrantes y salientes para ello se usa el comando *vim firewall*, este fichero contiene las políticas del *firewall* y las zonas configuradas, en este caso se edita la *config zone* llamada *wan* que es la interfaz de red que se creó anteriormente. Este proceso se puede ver en la Figura 3.23.

```
root@OpenWrt:/etc/config
config defaults
    option syn_flood      1
    option input          ACCEPT
    option output         ACCEPT
    option forward       REJECT
# Uncomment this line to disable ipv6 rules
# option disable_ipv6   1

config zone
    option name          lan
    list network        'lan'
    option input         ACCEPT
    option output        ACCEPT
    option forward       ACCEPT

config zone
    option name          wan
    list network        'wan'
    list network        'wan6'
    option input         ACCEPT
    option output        ACCEPT
    option forward       REJECT
    option masq          1

firewall [Modified] 20/208 9%
```

**Figura 3.23** Configuración del archivo *firewall*

A continuación, se reinicia el sistema utilizando el comando *reboot*, después del reinicio, se vuelve a acceder al sistema mediante protocolo *SSH* para ello se introduce la nueva dirección IP que se configuró la cual es 172.16.16.1 utilizando la herramienta *PuTTY*. Dentro del sistema se ingresó al directorio *config* y se procedió a editar el archivo *wireless* para lograr acceder a Internet y descargar los controladores necesarios para la tarjeta de red inalámbrica *USB*, la parte que se edito es la de *radio0* que hace referencia a la tarjeta de red inalámbrica integrada en la placa, la cual será la que se conecte a la red *Wi-Fi* del lugar en el que se encuentre.

Se cambió el canal de trabajo para evitar utilizar canales saturados, también se cambia las bandas a 11g y finalmente se edita el campo *option disabled* para que la interfaz de red inalámbrica se coloque en estado *up* o encendida, en la Figura 3.24 se detalla los cambios y se procede a ejecutar los cambios con el comando *uci commit wireless* y luego se activa la interfaz con el comando *wifi*.

```
root@OpenWrt ~
config wifi-device 'radio0'
option type 'mac80211'
option path 'platform/soc/3f300000.mmcnrc/mmc_host/mmc1/mmc1:0001/mmc1:00'
option channel '7'
option band '11g'
option htmode 'HT20'
option disabled '0'
option short_gi '0'

config wifi-iface 'default_radio0'
option device 'radio0'
option network 'lan'
option mode 'ap'
option ssid 'OpenWrt'
option encryption 'none'

t:/etc/config/wireless [Modified] 8/17 47%
```

Figura 3.24 Configuración de la interfaz de red inalámbrica

Una vez realizada esta configuración se activará una red *Wi-Fi* con el nombre de *OpenWrt* lo que indicará que se realizó la configuración correctamente cómo se indica en la Figura 3.25.



Figura 3.25 Nueva red inalámbrica

### Instalación del adaptador de red

Para instalar los controladores de la tarjeta de red inalámbrica *USB* se debe acceder a Internet para lo cual se necesita ingresar a la interfaz *web*, para lograrlo es necesario utilizar un navegador *web*, dentro del navegador se ingresa la dirección IP configurada para después ingresar el usuario y la clave que se declararon anteriormente. Dentro de la interfaz *web* se selecciona el menú de *Network*, en la ventana que se despliega se selecciona *Wireless*, después se selecciona la opción *scan* para escanear las redes inalámbricas disponibles como se observa en la Figura 3.26.

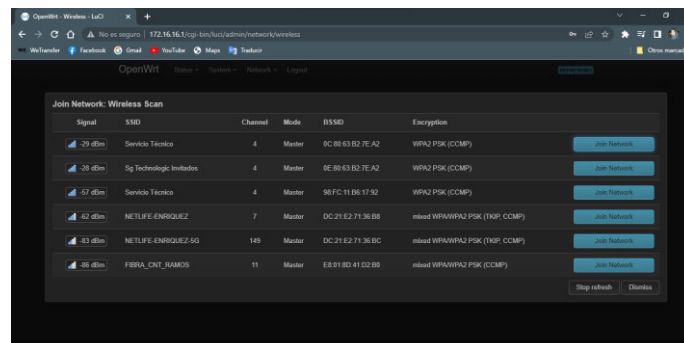
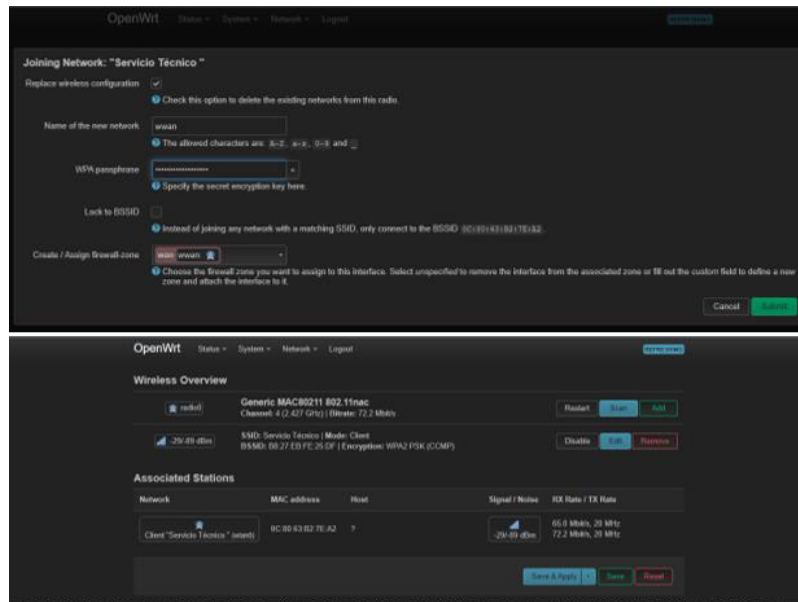


Figura 3.26 Escaneo de redes inalámbricas disponibles



Luego se selecciona la red a la que se desea conectar y posteriormente se ingresa la clave, se debe marcar la casilla *replace wireless configuration* para reemplazar la configuración cuando se conecte a una nueva red, después se presiona *submit* y finalmente se presiona guardar y aplicar. En la Figura 3.27 se puede ver la configuración antes mencionada y cómo se ha conectado a la nueva red.



**Figura 3.27** Conexión a una red inalámbrica

Luego se procede conectar la tarjeta de red inalámbrica *USB* a la *Raspberry Pi 3B+* como se enseña en la Figura 3.28, para después instalar los controladores mediante comandos en el sistema de *OpenWRT*, la tarjeta debe ser compatible con el microordenador puesto que si no lo es no se podrá instalar los controladores necesarios para que funcione.



**Figura 3.28** Instalación de la tarjeta de red inalámbrica

Para instalar los controladores se utiliza el comando *opkg install* como se observa en la Figura 3.29, en donde se detallan los controladores de distintas marcas compatibles de tarjetas de red inalámbricas *USB* y también se procede a instalar el *plugin UCI* para que se active la opción de *OpenVPN* en la interfaz *web*.



```
root@OpenWrt:~# opkg install kmod-rt2800-lib kmod-rt2800-usb kmod-rt2x00-lib kmo
d-rt2x00-usb kamod-usb-core kmod-usb-uhci kmod-usb-ohci kmod-usb2 usbutils openv
pn-opnssl luci-app-openvpn nano
```

Figura 3.29 Instalación de drivers y servicio de VPN

Después se procede a levantar la interfaz de red de la tarjeta de red inalámbrica con el comando `ifconfig wlan up` luego se procede a configurar la nueva red para ello se debe editar nuevamente el archivo `wireless` como se observa en la Figura 3.30. Esto permitirá que esta interfaz funcione como punto de acceso independiente con su propia *SSID* y su propia contraseña.

```
root@OpenWrt: ~
config wifi-iface 'wifinet1'
  option device 'radio0'
  option mode 'sta'
  option network 'wwan'
  option ssid 'Servicio T..cnico '
  option encryption 'psk2'
  option key 'sgTechnologic07'

config wifi-device 'radiol1'
  option type 'mac80211'
  option path 'platform/soc/3f980000.usb/usb1/1-1/1-1.3/1-1.3:1.0'
  option channel '1'
  option band '2g'
  option htmode 'HT20'
  option disabled '0'

config wifi-iface 'default_radiol1'
  option device 'radiol1'
  option network 'lan'
  option mode 'ap'
  option ssid 'LeoEsfot'
  option encryption 'psk2'
  option key 'prueba'
I /etc/config/wireless [Modified] 32/33 96%
```

Figura 3.30 Configuración del punto de acceso

### Instalación de la VPN

Para que el *router* brinde seguridad es necesario utilizar una VPN, para lo cual se utilizó una VPN gratuita obtenida de *ProtonVPN*, en la sección de descargas se obtiene el archivo de configuración de *OpenVPN* como se aprecia en la Figura 3.31. Este archivo está dedicado para una plataforma de *router* y en su configuración utilizará el protocolo *User Datagram Protocol (UDP)*.

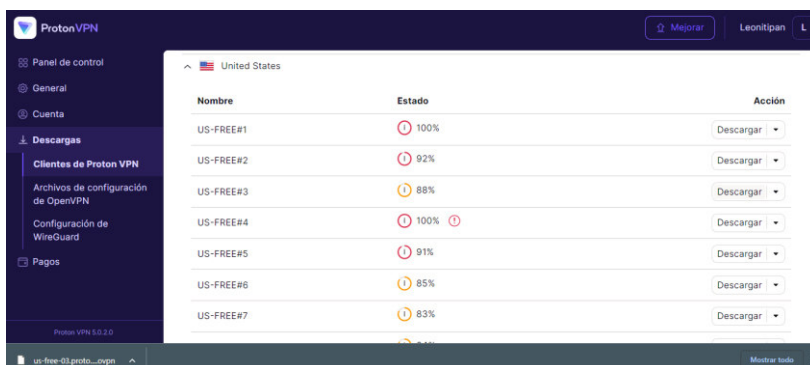
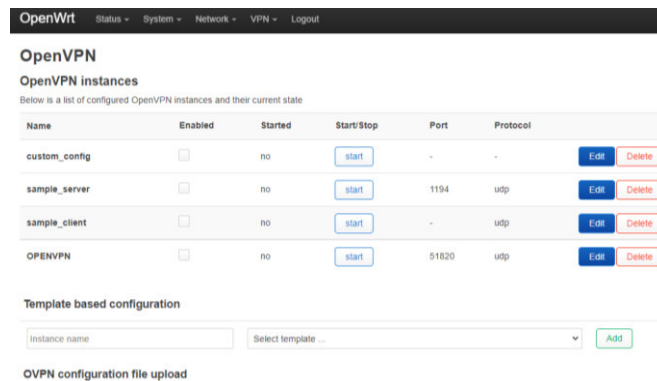


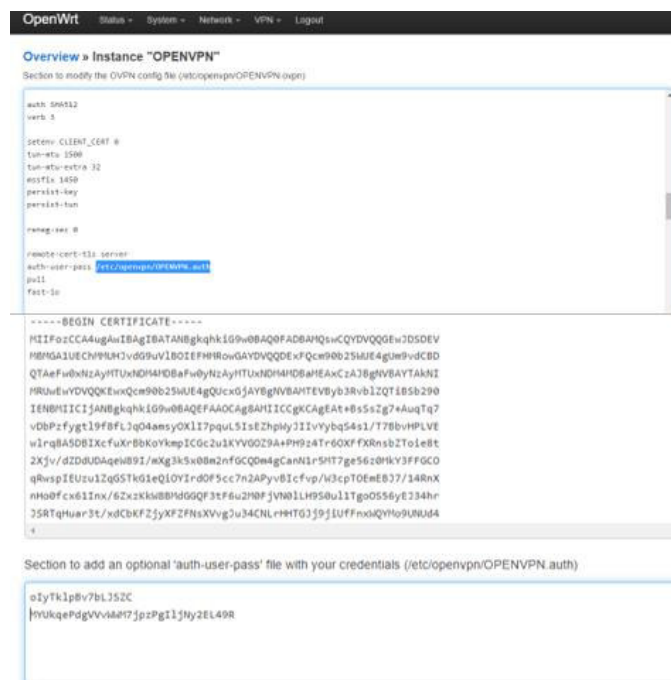
Figura 3.31 Obtención del archivo de configuración de *OpenVPN*

Para instalar el archivo de configuración se dirigió a la pestaña *OpenVPN* de la interfaz *web* de *OpenWrt*, dentro de allí se procede a subir el archivo y se da un nombre a la interfaz de *OpenVPN* como se aprecia en la Figura 3.32.



**Figura 3.32** Instalación del archivo de configuración de *OpenVPN*

Para que funcione correctamente se debe ingresar la ubicación del directorio donde se aloja el archivo, también se debe ingresar el usuario y contraseña que otorga el servidor de donde se obtuvo el archivo de configuración, estos datos se ingresan presionando la pestaña *edit* en la sección que se muestra en la Figura 3.33.



**Figura 3.33** Instalación de las credenciales del archivo de configuración de la *VPN*

También es necesario configurar el *firewall* para garantizar que funcione correctamente la *VPN*, para ello en la pestaña *network* en el submenú *firewall* se selecciona la opción editar de la zona llamada *wan* con el propósito de seleccionar los dispositivos cubiertos, tal como se observa en la Figura 3.34. Finalmente se guardan los cambios realizados.

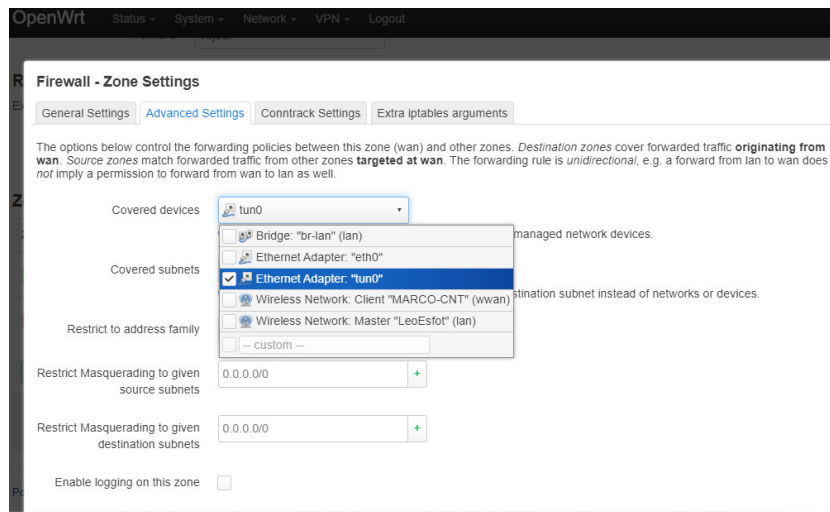


Figura 3.34 Configuración del *firewall*

### 3.5 Realización de pruebas de funcionamiento del prototipo de *router*

Para comprobar que el prototipo funcione de manera correcta se realizó las pruebas que se muestran a continuación:

#### Pruebas de conexión a la red del *router* inalámbrico

La red inalámbrica creada se la nombró como LeoESFOT, para verificar que esta red pertenezca a una interfaz de red inalámbrica del *router* se verifica la pestaña *wireless* de la interfaz *web* en donde se visualiza la red LeoESFOT como se muestra en la Figura 3.35.

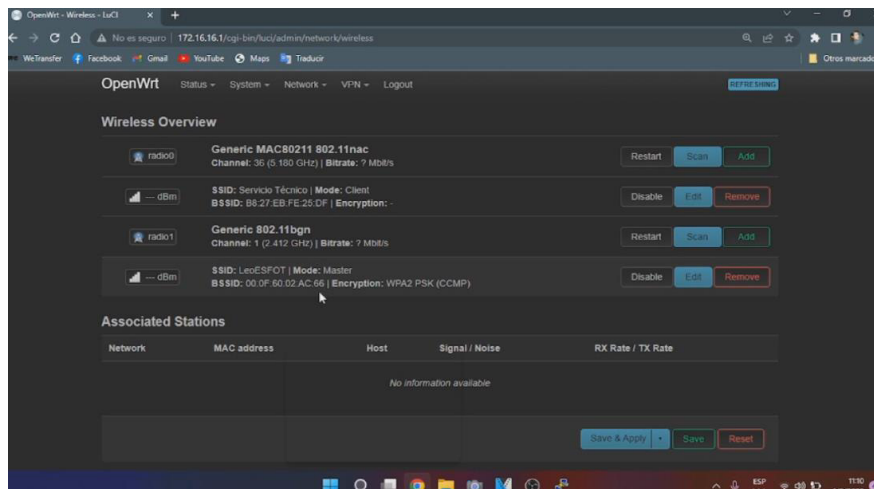


Figura 3.35 Demostración de la red creada

Otra forma de verificar es accediendo al archivo de configuración *wireless* en donde se puede verificar que la red LeoESFOT es la creada con la interfaz *radio1* la cual es de la tarjeta de red inalámbrica conectada al puerto USB como se aprecia en la Figura 3.36.

```
root@OpenWrt:/etc/config
option type 'mac80211'
option path 'platform/soc/3f980000.usb/usb1/1-1/1-1.3/1-1.3:1.0'
option channel '1'
option band '2g'
option htmode 'HT20'
option disabled '0'

config wifi-iface 'default_radio1'
option device 'radio1'
option network 'lan'
option mode 'ap'
option ssid 'LeoESFOT'
option encryption 'psk2'
option key 'leokof2002'

config wifi-iface 'wifinet2'
option device 'radio0'
option mode 'sta'
option network 'wwan'
option ssid 'Servicio Técnico '
option encryption 'psk2'
option key 'sgtechnologic07'

root@OpenWrt:/etc/config# cat wireless
```

**Figura 3.36** Demostración de la red radio1

Para verificar que el dispositivo está conectado a esa red se accede a la opción *Wi-Fi* del dispositivo conectado inalámbricamente y se verifica que esté conectado a la red LeoESFOT como se muestra en la Figura 3.37.



**Figura 3.37** Demostración de la conexión a la red inalámbrica

Para verificar que el dispositivo está conectado de manera cableada al *router* inalámbrico se accede a revisar la dirección IP del dispositivo desde una página *web* buscando cuál es mi dirección IP y verificando que el dispositivo esté conectado de forma cableada, esto se puede apreciar en la Figura 3.38, para determinar que es correcto la dirección IP que se muestra debe estar dentro del rango de la dirección IP que se configuró de manera estática la cual era la 172.16.16.1 como se indica en la Figura 3.39.

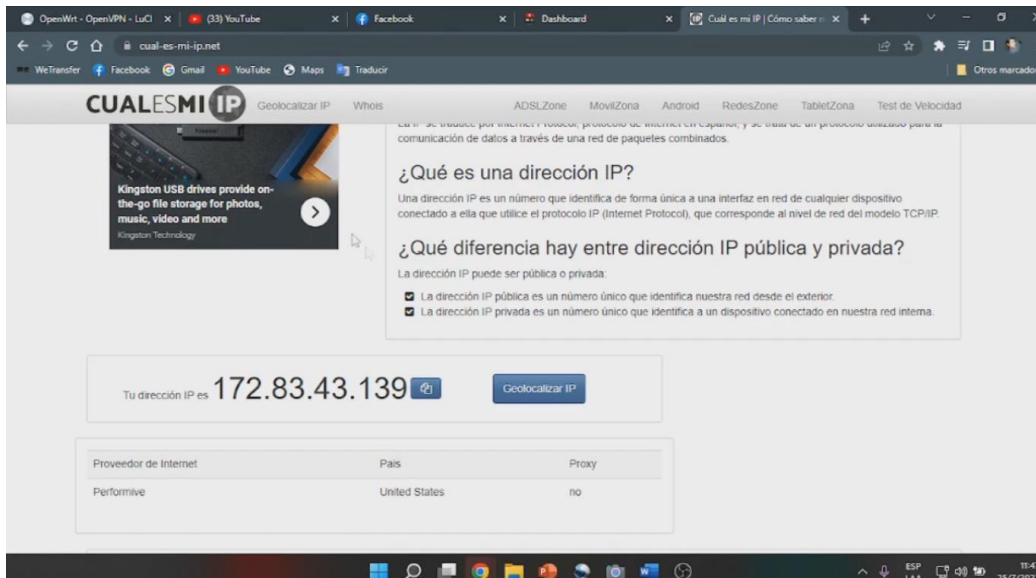


Figura 3.38 Identificación de la dirección IP

```

root@OpenWrt: /etc/config
config interface 'loopback'
    option device 'lo'
    option proto 'static'
    option ipaddr '127.0.0.1'
    option netmask '255.0.0.0'

config globals 'globals'
    option ula_prefix 'fdcc:37b6:db92::/48'

config device
    option name 'br-lan'
    option type 'bridge'
    list ports 'eth0'

config interface 'lan'
    option device 'br-lan'
    option proto 'static'
    option ipaddr '172.16.16.1'
    option netmask '255.255.255.0'
    option ip6assign '60'
    option force_link '1'

-- network 1/28 3%

```

Figura 3.39 Demostración de la dirección IP configurada

### Pruebas de funcionamiento del servicio de VPN

Para la realización de esta prueba se conectó un dispositivo al prototipo y mediante la interfaz web se procedió a activar y desactivar el servicio de VPN, lo que permite verificar si la región cambia o no y además si la dirección IP cambia tal y como se aprecia en la Figura 3.40 y Figura 3.41.

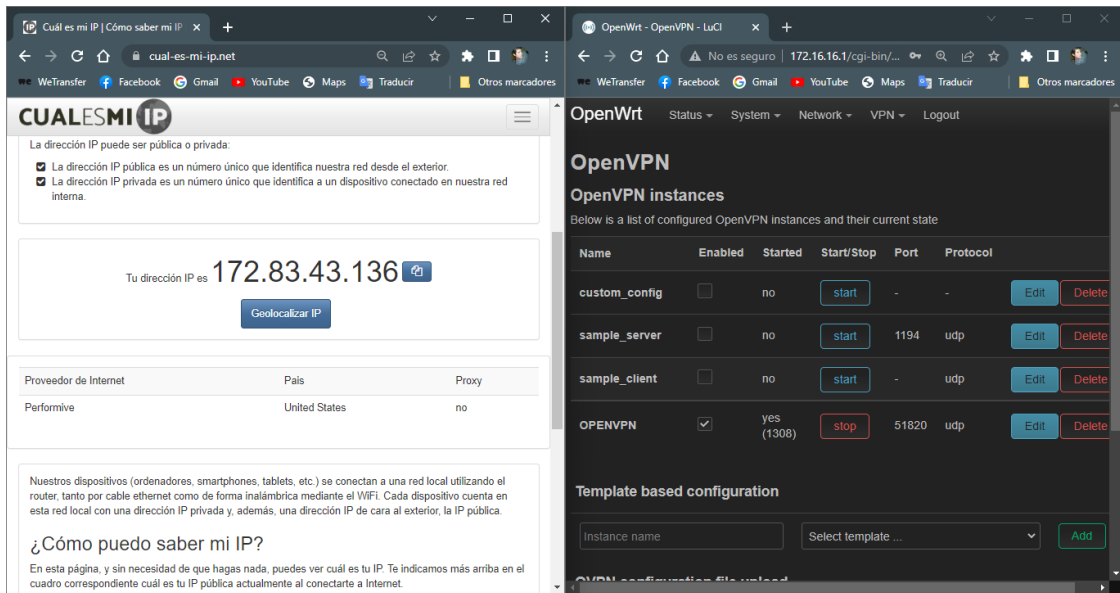


Figura 3.40 Prueba de funcionamiento VPN activado

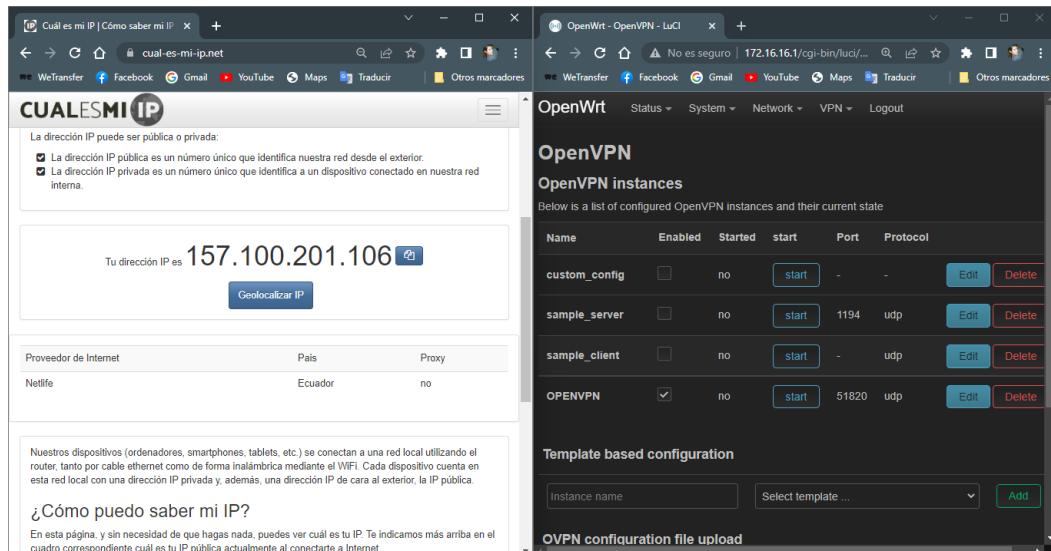


Figura 3.41 Prueba de funcionamiento VPN desactivado

### Pruebas de velocidad de Internet

Para la realización de las pruebas de velocidad de Internet se utilizó la herramienta *web Fast.com* para lo cual se tomó medidas de velocidad cuando el dispositivo estaba conectado de manera cableada y también de manera inalámbrica, también se procedió a activar y desactivar la VPN para evidenciar si la velocidad de transmisión disminuía con el uso de la VPN. En la Figura 3.42 y la Figura 3.43 se observa las pruebas realizadas.

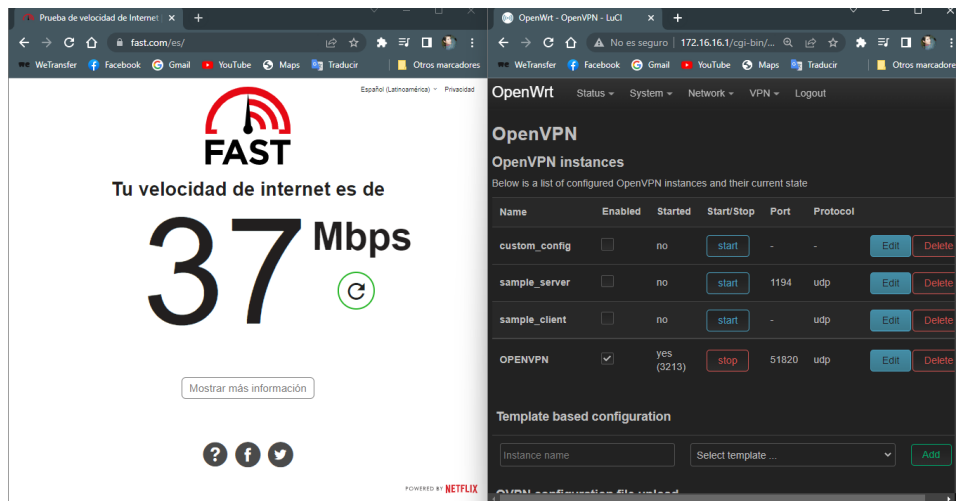


Figura 3.42 Prueba de velocidad activada la VPN

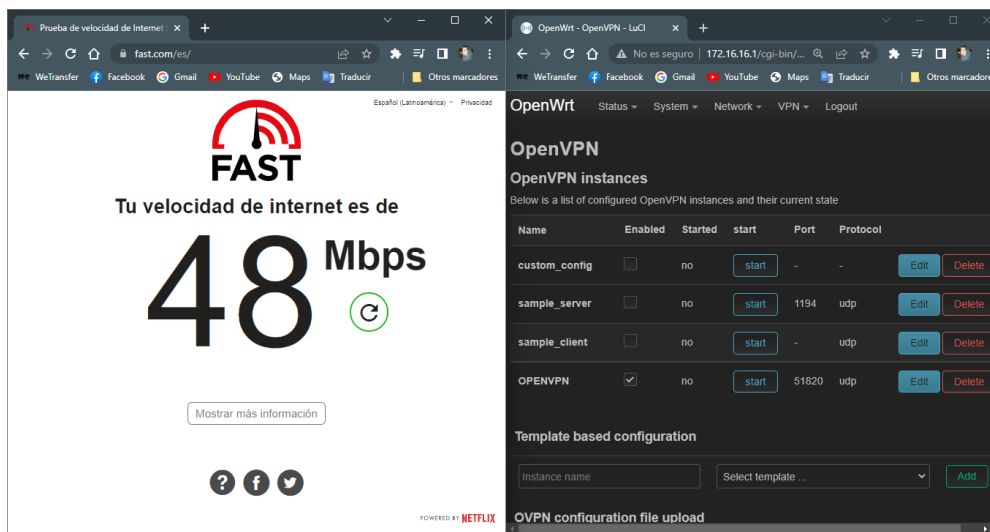


Figura 3.43 Prueba de velocidad desactivada la VPN

### Demostración de la funcionalidad del prototipo

La demostración del funcionamiento del prototipo se detalla en un video cuyo código QR se encuentra en la sección Código QR de la implementación y pruebas de funcionamiento.

### Mantenimiento del prototipo

La explicación del mantenimiento del prototipo se encuentra en un video cuyo código QR se encuentra en la sección Código QR del mantenimiento.

### Costos de implementación del prototipo

En la Tabla 3.2 se presentan de forma clara el costo total del prototipo, en donde se incluyen cantidad, detalle, costo unitario y costo total de cada uno de los elementos utilizados, también se tomó el pago por día de trabajo para el costo de mano de obra para lo cual se tuvo en cuenta el tiempo de implementación desde que finalizo la etapa de investigación.

**Tabla 3.2:** Costos de implementación del prototipo

<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio por unidad</b>	<b>Precio Total</b>
1	<i>Raspberry Pi 3B+</i>	\$83.00	\$83.00
2	Disipadores de calor de aluminio	\$2.25	\$4.50
1	Ventilador de 5 (VDC)	\$3.50	\$3.50
1	Fuente 5 (VDC) 3 (A) <i>Raspberry Pi 3B+</i>	\$12.00	\$12.00
1	<i>Case Raspberry Pi 3B+</i>	\$5.00	\$5.00
1	<i>MicroSD</i> marca <i>Kingston</i> 16 (GB)	\$8.00	\$8.00
1	<i>Wi-Fi Dongle</i>	\$9.00	\$9.00
1	Lector de <i>microSD USB</i>	\$4.00	\$4.00
3	Costo de mano de obra	\$20.00	\$60.00
		<b>Total</b>	\$189.00

## 4 CONCLUSIONES

- En la realización de este proyecto se comprobó que la implementación de un prototipo de *router* inalámbrico para asegurar las conexiones de datos es de suma importancia, debido a que en pleno auge y crecimiento de las redes de telecomunicaciones; la seguridad de la información que se transmite por medio de la red es primordial, además de la creciente tendencia a conectarse desde cualquier lugar demuestra que la principal ventaja de este prototipo es su portabilidad.
- En la selección del *hardware* requerido se optó por el microordenador *Raspberry Pi 3B+* a pesar de que la versión *Raspberry Pi Zero WH* es más barata y también es compatible con *OpenWrt*, puesto que el microordenador seleccionado posee características adicionales tales como: tarjeta de red inalámbrica integrada compatible con IEE 802.11b/g/n, puerto *Ethernet* para brindar conectividad cableada y sobre todo mayor capacidad de procesamiento gracias a que posee una memoria RAM de 1 (GB).
- Una limitación encontrada en la selección de *hardware* es que se debe seleccionar una tarjeta de red inalámbrica que sea compatible con *Raspberry Pi* y con *OpenWrt* debido a que si no es compatible no será posible encontrar los



*drivers* del dispositivo y por ende no se podrá crear la red inalámbrica para brindar conexión inalámbrica a dispositivos.

- Para la selección de *software* se concluyó que *OpenWrt* era la mejor opción debido a que posee *software* dedicado para gran cantidad de dispositivos entre ellos la mayoría de las versiones de *Raspberry Pi* a diferencia de otros tipos de *software* libres que no tienen soporte dedicado por lo cual no están optimizados para usarse en el microordenador *Raspberry Pi*. También cuenta con una interfaz *web* que permite instalar de manera sencilla *plugins* adicionales como el *plugin* de *VPN* que brinda seguridad a los datos que viajan por el *router* y además la conexión a nuevas redes inalámbricas se realiza de manera sencilla gracias a esta interfaz.
- Para cumplir con el alcance del proyecto que permite asegurar las conexiones que viajan a través de la red por el *router* inalámbrico, se instaló mediante la interfaz *web* ofrecida por el *software OpenWrt* una *VPN* la que permite que todo el tráfico que viaja a través de ella sea encriptado, además cambia la dirección IP del dispositivo conectado por la del servidor de *VPN* lo que permite ocultar la ubicación real del dispositivo lo que brinda seguridad adicional.
- Una de las ventajas del prototipo implementado es que se puede usar por largas jornadas de trabajo, para evitar el sobrecalentamiento del microordenador se concluyó que es necesario implementar disipadores de calor y un ventilador, estos elementos adicionales evitarán que se acumule calor en el microordenador garantizando que el dispositivo no sufra daños por calor al funcionar por varias horas.
- Otra ventaja del dispositivo es su portabilidad, por lo que se llegó a la conclusión de que es necesario adecuar un *case* protector compatible con la versión 3B+ de *Raspberry Pi*, de este modo se asegura que el microordenador no sufrirá daños por golpes al ser transportado o por contacto con elementos ajenos a él como basura o cantidades excesivas de polvo, de este modo se garantiza su portabilidad.
- Una de las brechas de seguridad que puede tener el dispositivo es que al momento de instalar *OpenWrt* viene configurado con una dirección IP fija en la interfaz de red *Ethernet* la cual es 192.168.1.1 por lo que para evitar cualquier posible ataque se optó por cambiar esta dirección IP por una dirección IP privada.
- Se identificó en el proceso de realización de pruebas que la velocidad de transmisión de datos disminuía al momento de activar la *VPN*. Por lo que se llegó

a la conclusión de que esto sucede debido a que los paquetes de datos tienen que cruzar por medio del túnel creado entre el servidor y el host final, esto se pudo identificar tanto en conexiones cableadas como inalámbricas.

- La tarjeta de red inalámbrica que se requiere utilizar en el dispositivo para proporcionar la red inalámbrica para los usuarios finales está conectada a un puerto *USB 2.0*, lo que limita la velocidad de transmisión que se puede alcanzar a través de esta red, por ese motivo se concluye que no es necesario utilizar tarjetas de red inalámbricas que alcancen grandes velocidades de transmisión como *Wi-Fi 5* o *Wi-Fi 6* debido a que la velocidad será limitada por el puerto *USB* al que están conectadas.

## 5 RECOMENDACIONES

- En la selección de *hardware* se seleccionó el microordenador *Raspberry Pi 3B+* debido a que sus características se acomodaban a las capacidades de red que se usan comúnmente. Pero en un ámbito en donde se utilicen velocidades que rondan los Gigabits por segundo es recomendable usar la versión *4B* puesto que posee un puerto Gigabit Ethernet y en el caso de usar una tarjeta de red inalámbrica conectada a un puerto *USB* podrá alcanzar mayores velocidades de transmisión puesto que cuenta con puertos *USB 3.0*.
- Al momento de configurar el microordenador como *router* se necesitó editar varios archivos del sistema es por esta razón que se recomienda crear un respaldo de los archivos que se van a editar específicamente los archivos *network*, *firewall* y *wireless* puesto que en caso de introducir una línea de código errónea se pueda eliminar el archivo erróneo y configurar nuevamente el archivo respaldado.
- Para lograr que varios dispositivos se conecten de manera inalámbrica al *router* se necesitó una tarjeta de red inalámbrica con puerto *USB*, pero al momento de investigar se identificó que no todas las tarjetas de red inalámbricas son compatibles, es decir los controladores no tienen soporte para *Raspberry Pi*, es por ello que se recomienda usar las siguientes tarjetas de red inalámbricas: *Wi-Fi tp-link tl-WN722N* versión 2 de fabricante Atheros, *Wi-Fi dongle 802.11n* fabricante Realtek, Edimax fabricante Atheros.
- En la implementación de la VPN se utilizó una VPN gratuita de *ProtonVPN*, pero se recomienda utilizar una VPN de paga o una VPN implementada de manera local puesto algunas VPN gratuitas pueden hacer mal uso de la información que viaja a través de ella porque nada garantiza que sea 100% fiable.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Ven, «Qué es un Router? Tips de uso,» tecnologia-informatica.com, [En línea]. Available: <https://www.tecnologia-informatica.com/que-es-router-wifi-comprar-ampliar-alcance/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [2] A. Delgado, «¿Qué es Raspberry Pi y para qué sirve?,» geetnetik.es, 21 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.geeknetic.es/Raspberry-Pi/que-es-y-para-que-sirve>. [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [3] J. Jimenez, «Conoce qué puedes hacer con OpenWrt en tu router,» redeszone.net, 27 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/openwrt-utilidades-router/>. [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [4] D. C. Barbosa, «Para qué sirve una VPN,» welivesecurity.com, 19 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2020/05/19/para-que-sirve-vpn/>. [Último acceso: 23 05 2022].
- [5] T. Mocan, «¿Qué Es OpenVPN y Cómo Funciona OpenVPN?,» cactusvpn.com, 30 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.cactusvpn.com/es/la-guia-para-principiantes-de-vpn/que-es-openvpn/>.
- [6] D. A, «¿Qué es ssh?,» hostinger.es, 27 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-ssh>. [Último acceso: 08 Junio 2022].
- [7] HostGator, «PuTTY en programación, aprende qué es y cómo utilizarlo,» hostgator.mx, 13 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.hostgator.mx/blog/putty-en-programacion-aprende-que-es/>. [Último acceso: 08 Junio 2022].
- [8] G. Ven, «Que es un Driver o Controlador?,» tecnologia-informatica.com, [En línea]. Available: <https://www.tecnologia-informatica.com/que-son-drivers-controladores/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [9] J. Pastor, «Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando,» xataka.com, 16 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>.

- [10] «Raspberry Pi 3 B+ Lección 1,» hetpro-store.com, [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/raspberry-pi-3-b-plus/>. [Último acceso: 24 Junio 2022].
- [11] «Raspberry Pi 3 Model B+,» thepihut.com, [En línea]. Available: <https://thepihut.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus?src=raspberrypi>. [Último acceso: 24 Junio 2022].
- [12] E. Rodríguez, «Qué modelo de Raspberry Pi comprar: un repaso a las principales placas y los proyectos más habituales para dar con la mejor,» <https://www.xataka.com/>, 02 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/seleccion/que-modelo-raspberry-pi-comprar-repaso-a-principales-placas-proyectos-habituales-para-dar-mejor>.
- [13] «Case Oficial Raspberry Pi 3,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/case-oficial-para-raspberry-pi-3-rojo-blanco/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [14] «30mm Raspberry Pi Brushless CPU Cooling Fan Heatsink Cooler Radiator DC 5V for Raspberry Pi4 Pi3 B+, Pi 3, Pi 2, Pi 1,» aliexpress.com, [En línea]. Available: <https://m.es.aliexpress.com/item/1005003977570934.html>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [15] «Disipadores Raspberry Pi,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/disipadores-raspberry-pi/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [16] Manuti, «Problemas de alimentación USB en la Raspberry Pi 3,» [rasberryparatorpes.net](http://rasberryparatorpes.net), 13 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://rasberryparatorpes.net/hardware/problemas-de-alimentacion-usb-en-la-raspberry-pi-3/>.
- [17] «Fuente 5V 3A Raspberry Pi 3,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/fuente-raspberry-pi/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [18] «Wifi Dongle,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/wifi-dongle/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [19] L. Diéguez, «SISTEMA DE ARCHIVOS CON RASPBERRY PI,» [kolwidi.com](http://kolwidi.com), 14 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://kolwidi.com/blogs/blog-kolwidi/sistema-de-archivos-con-raspberry-pi>.

- [20] «Canvas Select Plus microSD Tarjeta de memoria,» kingston.com, [En línea]. Available: <https://www.kingston.com/es/memory-cards/canvas-select-plus-microsd-card>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [21] «Bonito Mini USB 2.0 de Alta Velocidad Micro SD TF T-Flash Adaptador lector de tarjeta de memoria,» ebay.com, [En línea]. Available: <https://www.ebay.com/itm/303520512194>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [22] O. Espinosa, «Los mejores firmwares para routers que puedes instalar,» redeszone.net, 26 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/configuracion-routers/mejores-firmwares-routers/>.
- [23] OpenWrt, «Razones para usar OpenWrt,» openwrt.com, [En línea]. Available: [https://openwrt.org/es/reasons\\_to\\_use\\_openwrt](https://openwrt.org/es/reasons_to_use_openwrt). [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [24] MULLENGERS, «Thales IoT Developer Community OpenWrt Raspberry Pi networking pppd,» iot-developer.thalesgroup.com, 19 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://iot-developer.thalesgroup.com/showcase/openwrt-raspberry-pi-networking-pppd>.
- [25] R. Velasco, «Configurar el WiFi y SSH del Raspberry Pi nunca fue tan sencillo,» softzone.es, 22 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.softzone.es/noticias/open-source/raspberry-pi-imager-1-6/>.
- [26] ZEOKAT, «¿Qué es PuTTY y para qué sirve?,» vozidea.com, 28 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.vozidea.com/que-es-putty-y-para-que-sirve>.
- [27] «Archivos de configuración de OpenVPN,» account.proton, [En línea]. Available: <https://account.protonvpn.com/downloads>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [1] G. Ven, «Qué es un Router? Tips de uso,» tecnologia-informatica.com, [En línea]. Available: <https://www.tecnologia-informatica.com/que-es-router-wifi-comprar-ampliar-alcance/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [2] A. Delgado, «¿Qué es Raspberry Pi y para qué sirve?,» geetnetik.es, 21 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.geeknetic.es/Raspberry-Pi/que-es-y-para-que-sirve>. [Último acceso: 15 Mayo 2022].

- [3] J. Jimenez, «Conoce qué puedes hacer con OpenWrt en tu router,» redeszone.net, 27 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/openwrt-utilidades-router/>. [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [4] D. C. Barbosa, «Para qué sirve una VPN,» welivesecurity.com, 19 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2020/05/19/para-que-sirve-vpn/>. [Último acceso: 23 05 2022].
- [5] T. Mocan, «¿Qué Es OpenVPN y Cómo Funciona OpenVPN?,» cactusvpn.com, 30 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.cactusvpn.com/es/la-guia-para-principiantes-de-vpn/que-es-openvpn/>.
- [6] D. A, «¿Qué es ssh?,» hostinger.es, 27 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-ssh/>. [Último acceso: 08 Junio 2022].
- [7] HostGator, «PuTTY en programación, aprende qué es y cómo utilizarlo,» hostgator.mx, 13 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.hostgator.mx/blog/putty-en-programacion-aprende-que-es/>. [Último acceso: 08 Junio 2022].
- [8] G. Ven, «Que es un Driver o Controlador?,» tecnologia-informatica.com, [En línea]. Available: <https://www.tecnologia-informatica.com/que-son-drivers-controladores/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [9] J. Pastor, «Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando,» xataka.com, 16 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>.
- [10] «Raspberry PI 3 B+ Lección 1,» hetpro-store.com, [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/raspberry-pi-3-b-plus/>. [Último acceso: 24 Junio 2022].
- [11] «Raspberry Pi 3 Model B+,» thepihut.com, [En línea]. Available: <https://thepihut.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus?src=raspberrypi>. [Último acceso: 24 Junio 2022].
- [12] E. Rodríguez, «Qué modelo de Raspberry Pi comprar: un repaso a las principales placas y los proyectos más habituales para dar con la mejor,» <https://www.xataka.com/>, 02 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/seleccion/que-modelo-raspberry-pi-comprar-repaso-a-principales-placas-proyectos-habituales-para-dar-mejor>.

- [13] «Case Oficial Raspberry Pi 3,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/case-oficial-para-raspberry-pi-3-rojo-blanco/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [14] «30mm Raspberry Pi Brushless CPU Cooling Fan Heatsink Cooler Radiator DC 5V for Raspberry Pi4 Pi3 B+, Pi 3, Pi 2, Pi 1,» aliexpress.com, [En línea]. Available: <https://m.es.aliexpress.com/item/1005003977570934.html>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [15] «Disipadores Raspberry Pi,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/disipadores-raspberry-pi/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [16] Manuti, «Problemas de alimentación USB en la Raspberry Pi 3,» raspberryparatorpes.net, 13 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://raspberryparatorpes.net/hardware/problemas-de-alimentacion-usb-en-la-raspberry-pi-3/>.
- [17] «Fuente 5V 3A Raspberry Pi 3,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/fuente-raspberry-pi/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [18] «Wifi Dongle,» avelectronics.cc, [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/wifi-dongle/>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [19] L. Diéguez, «SISTEMA DE ARCHIVOS CON RASPBERRY PI,» kolwidi.com, 14 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://kolwidi.com/blogs/blog-kolwidi/sistema-de-archivos-con-raspberry-pi>.
- [20] «Canvas Select Plus microSD Tarjeta de memoria,» kingston.com, [En línea]. Available: <https://www.kingston.com/es/memory-cards/canvas-select-plus-microsd-card>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [21] «Bonito Mini USB 2.0 de Alta Velocidad Micro SD TF T-Flash Adaptador lector de tarjeta de memoria,» ebay.com, [En línea]. Available: <https://www.ebay.com/itm/303520512194>. [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [22] O. Espinosa, «Los mejores firmwares para routers que puedes instalar,» redeszone.net, 26 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/configuracion-routers/mejores-firmwares-routers/>.

- [23] OpenWrt, «Razones para usar OpenWrt,» [openwrt.com](https://openwrt.org/es/reasons_to_use_openwrt), [En línea]. Available: [https://openwrt.org/es/reasons\\_to\\_use\\_openwrt](https://openwrt.org/es/reasons_to_use_openwrt). [Último acceso: 27 Junio 2022].
- [24] MULLENGERS, «Thales IoT Developer Community OpenWrt Raspberry Pi networking pppd,» [iot-developer.thalesgroup.com](https://iot-developer.thalesgroup.com), 19 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://iot-developer.thalesgroup.com/showcase/openwrt-raspberry-pi-networking-pppd>.
- [25] R. Velasco, «Configurar el WiFi y SSH del Raspberry Pi nunca fue tan sencillo,» [softzone.es](https://www.softzone.es), 22 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.softzone.es/noticias/open-source/raspberry-pi-imager-1-6/>.
- [26] ZEOKAT, «¿Qué es PuTTY y para qué sirve?,» [vozidea.com](https://www.vozidea.com), 28 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.vozidea.com/que-es-putty-y-para-que-sirve>.
- [27] «Archivos de configuración de OpenVPN,» [account.proton](https://account.protonvpn.com/downloads), [En línea]. Available: <https://account.protonvpn.com/downloads>. [Último acceso: 27 Junio 2022].



## **7 ANEXOS**

Las listas de los Anexos se muestran a continuación:

ANEXO I. Certificado de originalidad

ANEXO II. Enlaces

## ANEXO I: Certificado de Originalidad

Quito, D.M. 23 de agosto de 2022

De mi consideración:

Yo, **LEANDRO ANTONIO PAZMIÑO ORTIZ**, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROUTER INALÁMBRICO EN LINUX PARA ASEGURAR LAS CONEXIONES DE DATOS DE DISPOSITIVOS** elaborado por el estudiante **LEONI BRANDO TIPAN ROBLERO** de la carrera **TECNOLOGÍA SUPERIOR EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

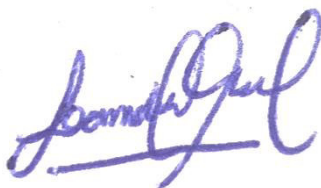
El documento escrito tiene un índice de similitud del 12 %.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

[Reporte Turnitin - LTipan.pdf](#)

Atentamente,



---

**DIRECTOR**

Ing. Leandro Antonio Pazmiño Ortiz, MSc.

**Docente Ocasional**

**ESFOT**

## ANEXO II: ENLACES

Código QR de la implementación y pruebas de funcionamiento



Código QR del mantenimiento

