

# NETWORK MANAGEMENT LABORATORY WITH OPEN SOFTWARE

José Roberto Santamaría Sandoval, Master.<sup>1</sup> 0000-0002-6349-0823,  
<sup>1</sup>Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica, jsantamarias@uned.ac.cr,

*Abstract - Network management is one of the most developed fields today in the telecommunications field due to the large amount of equipment and infrastructure from different manufacturers that are interconnected to operate in business, public and private networks. Therefore, within the training of engineers in this specialty it is a mandatory topic of study. But, to acquire skills and competencies, the incorporation of real experiences is required and although in controlled environments, activities similar to a real operating environment can be developed. This article develops the work carried out in the Telecommunications Engineering degree for the development of a laboratory using free and open software where an experience close to the real one is experimented and generated regarding the topic of network management. The results have been satisfactory, especially considering that a student even developed a graduation project applying what was studied in a real case on non-IT elements that are necessary to be manageable in a complete IT infrastructure. Therefore, it is concluded that the laboratory has been positive, has generated skills and interest in future professionals and leads to similar experiences having to be developed in the short term.*

*Keywords – Network management, virtual laboratory, GNU, applications, operations*

# LABORATORIO DE GESTIÓN DE REDES CON SOFTWARE GRATUITO

## NETWORK MANAGEMENT LABORATORY WITH OPEN SOFTWARE

José Roberto Santamaría Sandoval, Master.<sup>1</sup> 0000-0002-6349-0823,  
<sup>1</sup>Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica, jsantamarias@uned.ac.cr,

*Resumen— La gestión de redes es uno de los campos con mayor desarrollo en la actualidad en el tema de las telecomunicaciones por la gran cantidad de equipos e infraestructura de distintos fabricantes que se interconectan para operar en redes empresariales, públicas y privadas. Por lo cual, dentro de la formación de ingenieros en esta especialidad es un tema obligatorio de estudio. Pero, para la adquisición de habilidades y competencias se requiere de la incorporación de experiencias reales y aunque en ambientes controlados, puedan desarrollarse actividades semejantes a un ambiente operativo real. Este artículo desarrolla el trabajo realizado en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones para el desarrollo de un laboratorio usando software libre y gratuito en donde se experimenta y genera una experiencia cercana a la real en cuanto al tema de gestión de redes. Los resultados han sido satisfactorios, más considerando que hasta se desarrolló por parte de un estudiante un trabajo de graduación aplicando lo estudiado en un caso real sobre elementos no de TI pero necesarios de ser gestionables en una infraestructura completa de TI. Por lo cual, se concluye que el laboratorio ha sido positivo, ha generado competencias e interés en los futuros profesionales y lleva a que deban desarrollarse experiencias similares en el corto plazo.*

*Palabras claves—Gestión de redes, laboratorio virtual, GNU, aplicaciones, operación.*

*Abstract - Network management is one of the most developed fields today in the telecommunications field due to the large amount of equipment and infrastructure from different manufacturers that are interconnected to operate in business, public and private networks. Therefore, within the training of engineers in this specialty it is a mandatory topic of study. But, to acquire skills and competencies, the incorporation of real experiences is required and although in controlled environments, activities similar to a real operating environment can be developed. This article develops the work carried out in the Telecommunications Engineering degree for the development of a laboratory using free and open software where an experience close to the real one is experimented and generated regarding the topic of network management. The results have been satisfactory, especially considering that a student even developed a graduation project applying what was studied in a real case on non-IT elements that*

*are necessary to be manageable in a complete IT infrastructure. Therefore, it is concluded that the laboratory has been positive, has generated skills and interest in future professionals and leads to similar experiences having to be developed in the short term.*

*Keywords – Network management, virtual laboratory, GNU, applications, operations*

### I. INTRODUCCIÓN

La formación de los ingenieros en el campo de las telecomunicaciones se ha asociado históricamente al desarrollo de nuevas tecnologías que permitan mayor conectividad y transmisión de datos. Pero, una parte importante de las telecomunicaciones es lograr que estos datos lleguen correctamente al receptor, evitar que los sistemas presenten averías y que no se presenten alteraciones en los servicios que proveen las redes de telecomunicaciones. La gestión de red implica planear, instalar, operar, monitorear y controlar tanto la infraestructura como los elementos lógicos de una red de telecomunicaciones [1].

Con el paso de los años, conforme las redes de telecomunicaciones se volvieron heterogéneas los esquemas de gestión buscaron modelos abiertos que permitieran la interconexión y gestión de elementos y redes de distintas marcas y características de operación [2]. Para mediados de la década de los 90's se plantea el uso de protocolos como SNMP por parte de la IETF para el ambiente de internet, siendo el protocolo que domina en la actualidad y el protocolo CMIP por parte de la UIT, siendo este último un protocolo que no se usa [1].

En la actualidad, con el desarrollo de las redes definidas por software (SDN), la gestión se plantea desde distintos esquemas: centralizada, distribuida, ad-hoc, entre otros. Todo esto debido a que SDN traslada las funciones de gestión desde el plano de control de un elemento de red a un controlador directamente asociado, que no incluye interfaz humana y capas de aprender y tomar decisiones, bajo una configuración inicial, todo manejado por aplicativos [2].

Lo anterior, muestra un poco la complejidad del tema, y eso deriva en la importancia que se incluya dentro de la formación de los ingenieros en telecomunicaciones. Es precisamente en este ámbito donde la carrera de Ingeniería en

## II. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la creación del laboratorio es de investigación – acción con un proceso iterativo de prueba y error, semejante a un proceso ágil de desarrollo e implementación basado en la técnica de pensamiento de diseño.

Antes de desarrollar el laboratorio, el investigador en papel de encargado de cátedra debe certificar que lo desarrollado realmente funcione, por lo cual se vuelve parte activa del proceso. Además, esta parte involucra que de manera activa el investigador realice la revisión bibliográfica bajo un método PRISMA [16] sobre distintas plataformas gratuitas, esta búsqueda involucro revisión de literatura en artículos, aplicaciones y documentación asociada para valorar distintas capacidades, pero sobre todo buscando la facilidad de uso por parte de los estudiantes.

Con la escogencia realizada bajo ese enfoque práctico y académico, al no dejar de lado, la asociación a las temáticas de las asignaturas se pasa a la etapa donde bajo un modelo de pensamiento de diseño [17], que se muestra en la figura 1, se desarrollan las cinco etapas.

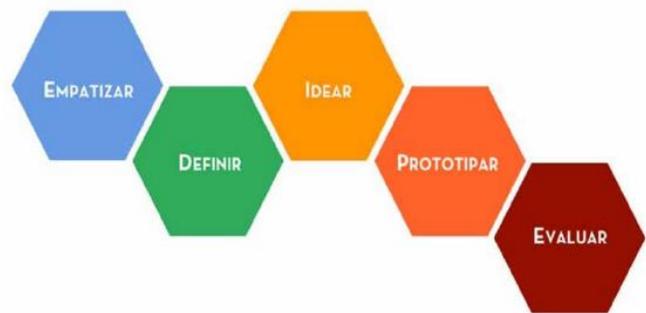


Fig. 1. Método Pensamiento de Diseño

En la primera etapa de empatizar se trabajo en la definición del objetivo de la práctica en función de las necesidades que tiene el futuro profesional en este campo de acción. Con la obtención de las capacidades que se buscan para el laboratorio se pasó a la etapa de definiciones, donde se obtiene que el objetivo del desarrollo del laboratorio era desplegar un sistema de gestión gratuito dentro de una red local de comunicaciones para la gestión de los equipos comunicados a dicha red. Este objetivo complementado por elementos específicos como implementar el sistema, configurarlo, evaluación de resultados, entre otros.

La tercera etapa permitió modelar todo el laboratorio completo, el procedimiento esperado y, además, la inclusión de una experiencia adicional como es la instalación de un aplicativo creador de máquinas virtuales, pensado esto para estudiantes con ambientes Windows en sus computadoras. Con la generación de la guía de laboratorio en versión 1, se procede a prototipar.

Telecomunicaciones de la UNED tiene un énfasis asociado a la temática de la gestión de redes de telecomunicaciones, compuesto por dos asignaturas: Monitoreo y Operación de Redes y la segunda denominada Gestión de Redes y Comunicaciones. En dichas asignaturas se les da formación a los futuros profesionales sobre conceptos básicos de la temática, protocolos y estándares, uso de aplicativos, configuración e instalación de sistemas y definición de umbrales de operación.

La UNED tiene un modelo de educación a distancia, y propiamente la carrera ha privilegiado el uso de las TIC como elementos de soporte, didácticos y evaluativos. La carrera es 100% virtual y privilegia el uso de una serie de plataformas de experimentación, de simulación y emulación de sistemas de telecomunicaciones, de diseño y entrenadores para diversos temas [3] [4]. Además, la carrera para complementar dicho modelo hace uso en sus primeros niveles de laboratorios de experimentación remota desarrollados por el área de ciencias básicas de la universidad [5]. De esta manera, se logra que los futuros profesionales en el campo logren adquirir las habilidades y competencias necesarias en el campo de las telecomunicaciones.

Específicamente, en el tema de la gestión de redes la carrera no había desarrollado un laboratorio específico, sino que ambas asignaturas de venían brindando con una visión teórica. Es así, como a partir del año 2022 la cátedra a cargo de estas asignaturas comienza a evaluar una serie de posibles herramientas gratuitas con las cuales el estudiante pueda instalarla en sus equipos locales y generar una primera experiencia sobre lo que es el campo de la gestión de red. Semejante a estudios realizados sobre OpenNOP [6], MQTT [7]. Por otro lado, la cátedra también visualiza la tendencia de mercado de la gestión de red como un servicio [8] y por eso, la importancia de incluir un laboratorio no solo de uso de una plataforma, sino que les permita instalar el aplicativo.

De la búsqueda realizada sobre diversos sistemas, se escogió la plataforma CACTI, la cual se implementa en servidores Linux y tiene capacidades robustas [9] pero a su vez, posible de implementar en máquinas domésticas. Además, que se ha demostrado su versatilidad en diversos estudios como para análisis de operación de microprocesadores [10], de superconductores avanzados [9], para descubrimientos automatizados de red y mapeo de esta [11], en apoyo a la virtualización de redes [12] y para gestión eficiente de la información de red [13].

A nivel de literatura se ubican experiencias para la creación de laboratorios o experiencias prácticas para los estudiantes en temas como redes empresariales usando plataformas con equipos asociados a marcas comerciales [14], en laboratorios asociados a protocolos para transporte de aplicaciones específicas como telemetría de IoT [15], pero ningún caso sobre la utilización de un aplicativo open para implementarlo como una práctica.

En este caso, el prototipo fue recrear el procedimiento en la computadora del investigador, validando el paso a paso de tutoriales que se ubicaron en internet, y con ello, empieza la parte iterativa del proceso de desarrollo. Este proceso involucro que, si un paso mencionado en los tutoriales no funcionaba, averiguar que faltaba y con ello, en paralelo el procedimiento del laboratorio agregarle dichos pasos, excepciones o posibles situaciones que pudieran presentar. Con esto se obtiene finalmente la versión final de aplicación en las asignaturas mencionadas, y se procede a evaluar.

La evaluación realizada del laboratorio ha sido mediante su aplicación en cursos, y retroalimentaciones de los estudiantes usando la técnica de foro de discusión, posterior al laboratorio. En este se le consulta al estudiante sobre la experiencia, cuestiones de mejora y limitaciones que encontraron de la aplicación de este. Al menos la aplicación del laboratorio se ha venido realizando desde el año 2022.

Propiamente, el método de aplicación del laboratorio hacia los estudiantes ha consistido en la creación de una guía de laboratorio, la cual se incorpora al curso 03395 Gestión de Redes y Comunicaciones de la carrera en la unidad 4 donde se estudian herramientas de gestión. Para ese momento en la asignatura ya se han estudiado protocolos de gestión, modelos de gestión y en la unidad se repasan herramientas licenciadas y no licenciadas. Además, la asignatura se acompaña de una unidad didáctica donde se explican como características de estos sistemas vistos como para grandes, medianas y pequeñas empresas y modelos de licenciamiento, tanto licenciados como abiertos y gratuitos.

A partir de lo anterior, en la práctica de laboratorio se incluye la guía junto con material multimedia y guía para la descarga e instalación del sistema en sus computadoras personales. Parte de la investigación sobre el sistema permitió determinar la aplicación que se usa en este laboratorio pudiera operar en casi toda computadora personal, más que su ambiente es Linux bajo una máquina virtual que no requiere tantos recursos.

### III. HERRAMIENTAS DEL LABORATORIO

Para la realización del laboratorio se hace uso de dos aplicativos gratuitos como son: Virtual Box para la creación de máquinas virtuales y Cacti.

#### A. *VirtualBox*

VirtualBox es uno de los software más robustos y poderosos de virtualización desarrollado por Oracle [18]. Permite la creación de máquinas virtuales compatibles en computadoras con procesadores Intel o AMD. Precisamente, es una solución disponible bajo un esquema de código abierto u *Open Source*, o como herramienta gratuita y además, provee una serie de ilimitadas capacidades bajo la versión de Licencia Pública General GNU. A su vez, es una solución con capacidades empresariales y puede correr dentro de las máquinas virtuales una serie de sistema operativos como Linux, Mac, Solaris OSs y Windows. Una ventaja que tiene

VirtualBox es que provee puede compartir datos de manera fácil y rápida entre las máquinas virtuales.

La versión con la que se desarrollo el laboratorio fue la versión 6.0, pero en realidad el laboratorio puede trabajar sobre las versiones actualizadas, porque lo que se ocupa es crear una máquina virtual que tenga un sistema operativo (SO) Linux Ubuntu bajo una versión estable.

Un elemento que consideró es que la aplicación no corre en un computador que no tenga un SO instalado, porque no es un instalador de SO para máquina real, sino que sobre el SO del computador es que se instala y crea la máquina virtual deseada. Otro elemento al cual se le consideró de importancia es que este virtualizador dentro de la máquina virtual permite la instalación de un SO distinto al de la máquina real. Por ejemplo, el estudiante por lo general tendrá Windows, pero dentro de la máquina virtual no tendrá problema en tener un servidor Linux.

#### B. *Linux Ubuntu*

Dentro del laboratorio se definió utilizar como SO Linux Ubuntu en su versión estable más reciente. Hay dos aspectos que permitieron la escogencia de este sistema operativo, por un lado, su interfaz gráfica que le permite a los estudiantes verlo semejante a Windows, donde se considera la mayoría trabaja en sus computadoras. En segundo lugar, la facilidad sea desde la misma interfaz gráfica o de comando de implementar la librería de Cacti.

La opción usada para cuando se implementó el laboratorio fue la versión 22.01, en la actualidad se usaría la versión 22.04. Es importante señalar que se utiliza la opción del SO para máquinas virtuales, la cual es una versión más liviana y que permite bajar un archivo tipo ISO, la cual puede instalarse en una llave maya o dentro del mismo servidor virtual creado por VirtualBox.

El proceso de instalación es muy interactivo y lineal, además de rápido al poder completarse el proceso en máximo 5 minutos, lo que da fluidez a la realización del laboratorio. Otro elemento considerado para la elección de Linux en su distribución Ubuntu es que la mayoría de los desarrollo actuales y aplicativos de gestión trabajan sobre software libre del tipo GNU, lo que les facilitará a los estudiantes su adaptación a otros sistemas de gestión. En la guía de laboratorio se señala el proceso para instalación del SO dentro de la máquina virtual, sobre todo para la asignación de recursos que necesita para un funcionamiento óptimo.

#### C. *Cacti*

Cacti es una plataforma de gestión que provee una robusta y extensible marco de trabajo para operaciones que permite el monitoreo de aplicaciones, infraestructura y servicios bajo la configuración de umbrales de operación, lo que permite la detección de fallas y averías en la red. Si la configuración se realiza bajo un modelo de correlaciones de variables junto con umbrales de operación, y se realiza la correcta carga de la base de datos de configuración (CMDB) permite realizar una gestión predictiva, proactiva y no solamente reactiva.

Además, si la organización aplica el marco de trabajo de la UIT-T FCAPS, le permitirá asociar su operación a los distintos indicadores. Por otro lado, al poder implementarse en una máquina virtual es perfecta para una práctica de laboratorio a nivel académico, ya que no consume tantos recursos y como solamente se piensa en usar elementos de red de la propia cada del estudiante, la generación del tráfico no afecta el rendimiento del computador.

Por otro lado, también la plataforma incluye un marco de trabajo de colector de datos distribuido y tolerante al fallo, características de automatización en la población de la base de datos de dispositivos, así como la facilidad de creación de gráficos y árboles de elementos de red, métodos múltiples para la adquisición de datos. En la figura 2 se muestra como se ve la base de datos de dispositivos una vez configurada la plataforma.

Device Description	Hostname	IP	Graphs	Data Sources	Status	In State	Uptime	Poll Time	Current (ms)	Average (ms)	Availability	Created
Cacti Server	localhost	1	4	5	Up	N/A	N/A	0.1	0	0	100%	2020-09-06 21:43:06
Central NAS	192.168.11.105	56	12	19	Up	120	42	0.26	0.25	1.15	99.96%	2020-09-06 21:43:06
IP Printer	192.168.11.114	53	12	22	Up	120	54	0.65	1.04	1.8	99.91%	2020-09-06 21:43:06
vmw001	192.168.11.201	46	12	19	Up	120	4	0.38	1.45	1.61	99.99%	2020-09-06 21:43:06
vmw002	192.168.11.202	45	12	19	Up	120	4	0.34	0.56	0.94	99.99%	2020-09-06 21:43:06
vmw003	192.168.11.203	44	12	19	Up	120	4	0.24	0.9	2.09	99.98%	2020-09-06 21:43:06
vmw004	192.168.11.204	43	12	19	Up	120	4	0.26	1.01	0.76	100%	2020-09-06 21:43:06
vmw005	192.168.11.205	42	12	19	Up	120	4	0.33	0.83	1.25	99.99%	2020-09-06 21:43:06
vmw006	192.168.11.206	41	12	19	Up	120	4	0.59	0.74	0.79	100%	2020-09-06 21:43:06
vmw007	192.168.11.207	40	12	19	Up	207	4	0.4	0.52	1.06	99.93%	2020-09-06 21:43:06
vmw008	192.168.11.208	39	12	19	Up	120	4	0.19	0.89	1.24	99.99%	2020-09-06 21:43:06
vmw009	192.168.11.209	38	12	19	Up	207	4	0.15	0.7	1.07	99.93%	2020-09-06 21:43:06
vmw010	192.168.11.210	37	12	19	Up	120	4	0.22	0.77	0.77	100%	2020-09-06 21:43:06
vmw011	192.168.11.211	36	12	19	Up	120	4	0.09	2.61	1.01	99.98%	2020-09-06 21:43:06
vmw012	192.168.11.212	35	12	19	Up	120	4	0.32	1.14	1.09	99.99%	2020-09-06 21:43:06
vmw013	192.168.11.213	34	12	19	Up	120	4	0.25	2.63	1.05	99.98%	2020-09-06 21:43:06
vmw014	192.168.11.214	33	12	19	Up	267	4	0.26	3.99	1.02	98.93%	2020-09-06 21:43:06
vmw015	192.168.11.215	32	12	19	Up	120	4	0.31	1.11	0.93	99.99%	2020-09-06 21:43:06

Fig. 2. Vistazo a la base de datos de dispositivos de Cacti

La plataforma puede obtener información como dirección IP, rendimiento de procesados, tráfico entrante y saliente, consumo de energía, memoria del dispositivo. También, permite generar logs para tiempos de respuesta, salud del dispositivo. Cacti puede obtener información de cualquier dispositivo que acepte el protocolo SNMP, pero puede usar plantillas y otros protocolos como ICMP, TCP, UDP, dado caso para interrogar. La base de datos de Cacti es MySQL o MariaDB, ambas abiertas no licenciadas. Eso sí, el uso de algunos aplicativos como templates específicos, RRDtools, gráficos específicos y funciones más complejas, si debe realizarse un pago. Pero con las funcionalidades estudiadas se consideró suficiente para aportar la generación de la competencia deseada en el futuro profesional.

#### IV. GUÍA DE LABORATORIO

La guía de laboratorio desarrollada tiene como objetivo principal que la persona estudiante logre instalar e implementar un sistema de gestión en una máquina virtual con características de servidor empresarial. De esta manera, se logran otros objetivos como es la aplicación práctica de SNMP; configuración de umbrales de operación, entender el proceso de descubrimiento y poblamiento de la base de datos

de configuración y la evaluación de los datos para la toma de decisiones.

En sí, esto le permite al futuro profesional, aunque en un ambiente controlado, visualizar operaciones, funciones y actividades dentro del aspecto de la gestión de redes de comunicaciones. La estructura del laboratorio incluye en si mismo dos actividades: foros de discusión y experimentación. La primera actividad corresponde a un espacio para socialización de dudas, limitaciones y análisis de resultados. Este espacio es posterior a la experimentación, porque la idea es trabajarlo como ese equipo que atiende un centro de operaciones, y visualizar los resultados obtenidos por los demás, y con ello valorar posibles acciones, encontrar inconsistencias o elementos que no se haya visualizado por la persona estudiante en su propio entorno.

La experimentación o realización del laboratorio es la otra actividad como tal. Esta parte del laboratorio consiste en la descarga de los distintos aplicativos que se requieren y explicados en la sección anterior, la visualización de dos tutoriales que no explican todos los pasos, sino que deja ciertos aspectos al análisis de la persona estudiante y así las condiciones de instalación, no son solamente seguir pasos, sino afrontarse con aspectos que pueden variar como distribución o versión de la aplicación, personalizaciones que existen en el computador del estudiante.

En el procedimiento una vez instalados los componentes y comprobando que han funcionado, se siguen con los pasos de configuraciones iniciales de la plataforma que son ingresar con la clave genérica de administrador, configurar cuenta y perfiles de usuarios, inclusión manual de dispositivos y luego por descubrimiento. En la figura 3 se muestra la pantalla de inicio de Cacti una vez instalado.

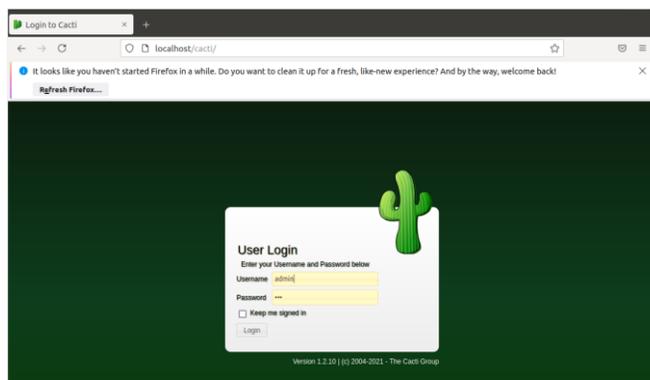


Fig. 3. Pantalla de ingreso de la plataforma Cacti

Luego, se solicita la configuración de indicadores de desempeño de cada equipo dependiendo de su naturaleza como son: parámetros de tráfico en equipos de comunicaciones, indicadores de memoria y procesamiento en elementos como computadores, si es un disco duro capacidad de almacenamiento. Con estos indicadores identificados, se solicita la creación de umbrales de operación, para lo cual se le solicita leer literatura relacionada al elemento ingresado, y

valorar recomendaciones de los fabricantes. Por ejemplo, un disco duro de red puede configurar una alerta al 80% que no significa avería, pero si un umbral de alerta.

Bajo las mismas recomendaciones de fabricantes también se les solicita a los estudiantes configurar el tiempo de toma de muestra o sondeo para la carga de información del sistema. Se solicita con un tiempo de cada 5 minutos y con esto dejar cargar la información en la CMDDB por espacio de unas 3 horas. Esto para tener información para analizar. Posterior, se solicita programar otros períodos de sondeo más largos y cortos, para que se visualice la cantidad de información que se genera, y con ello pasar a la creación de gráficos.

Cabe recordar, que esta plataforma en la versión que se descarga no trabaja por cantidad de sondas. En ciertos aplicativos dependiendo del licenciamiento se configuran un total de sondas, donde cada sonda puede ser un puerto de red, una característica específica. Esta es otra razón de la escogencia de esta plataforma, porque permite configurar sondas sin tener esa limitante, pero a su vez, al aplicarse a redes domésticas, se presupone que no serán muchos los equipos a incluir.

Se solicita que durante el proceso de recolección de información generar otros procesos que cambien el comportamiento como búsquedas de información en internet, descarga de datos, desconectar un equipo, generar solicitudes de ping, descarga de correos electrónicos, entre otras. Todo eso con el fin de mostrar como varían los datos que se presentan en la consola de la plataforma, y con ello, generar gráficos de tendencias de comportamientos.

Entre los gráficos que se solicita generar esta el topológico, por equipo de consumo de datos, de procesamiento, por cada indicador de desempeño. Si dado caso se generó una avería intencional, identificarla dentro de la data y con ello generen evaluación de resultados. Esto precisamente es la última etapa del laboratorio. Con los datos y gráficos obtenidos, se procede a la parte de evaluación y análisis, que para eso la guía del laboratorio incluye preguntas generadoras y concerniente a toma de decisiones. Luego, si en el proceso tuvo que realizar cambios en la configuración o se tuvieron que realizar toma de decisiones como rebalanceo de tráfico, entre otras acciones. También, validar versus un modelo como es FCAPS, el funcionamiento que vieron de la plataforma.

Este tipo de laboratorio no son de realización de un día, sino que lo importante es tenerlo funcionando por espacio de unos tres días, no solo las tres horas mencionadas, ya que lo que se busca es obtener cada vez más datos y generación de históricos, para acercarlos a la realidad de un proceso de gestión.

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La primera implementación del laboratorio se realizó en el segundo cuatrimestre del 2022 en donde la asignatura contó con un total de 5 estudiantes. La asignatura realiza aperturas en los segundos y terceros cuatrimestres de cada año y en total

el laboratorio lo han realizado 8 estudiantes, y de esos, uno lo tomo como tema para el desarrollo de su TFG.

#### A. Resultados de los informes de laboratorio

Los primeros 5 estudiantes presentaron problemas a la hora de la instalación, conforme de denota desde el informe de laboratorio, así como en el foro de discusión. Precisamente, los aspectos donde mencionan mayor facilidad los estudiantes esta en la descarga de los aplicativos e instalación de la máquina virtual y del SO Linux, luego de la instalación de Cactus no señalan mayor problema. En donde inicia el problema es la configuración que hay que hacer de la plataforma para que pueda conectar y a través del puerto virtual que genera la máquina virtual poder capturar datos.

Otro aspecto que mencionan es la configuración SNMP, ya que depende del tipo de equipo este es distinto. Por ejemplo, en un enrutador o equipos de comunicación puede ser la habilitación en la interfaz de usuario (GUI) a como puede ser por medio de un comando. Pero, en otros equipos como un computador con Windows, hay que ser administrador y dirigirse a configuración del SO para habilitarlo, aparte de otros valores. En la figura 4 extracto de lo mencionado en el foro que acompaña al laboratorio.



Fig. 4. Comentarios sobre el proceso de realización del laboratorio

En los informes de laboratorio se logra verificar que los estudiantes lograron comprender el proceso de configuración de SNMP porque primero se debe configurar la comunidad que por lo general la denominan Cacti. Y el segundo paso, logran verse que también tuvieron que investigar dependiendo del tipo de equipo que pasos eran necesarios para configurar SNMP y que de esa manera el sistema de gestión los pudiera interrogar y capturar información. En la figura 5 se muestra como es la configuración de un equipo con SO Linux para ser incluido en Cacti.



Fig. 5. Aspectos de configuración para la inclusión de una estación de trabajo con Linux

Dentro de los datos que se solicitan esta el puerto SNMP, la dirección IP, porque estos dos datos en conjunto crean el socket que permite interrogar y obtener información desde la estación de trabajo. También, el método para determinar la disponibilidad del equipo que este caso se escogió ICMP, el tiempo de espera antes de considerar que el equipo esta desconectado, lo cual se determino en 400 segundos, eso es como 6 minutos. Y como ve puede observar en la primera parte, Cacti tiene una plantilla que se puede asociar a este elemento denominada Local Linux Machine.

En otro estudiante, más bien se detalle el proceso para habilitar SNMP en una estación de trabajo con Windows, como se puede observar en la figura 6. En este caso, debe ir a dispositivos y servicios, como se mencionó anteriormente y ahí habilitar en seguridad la captura y la comunidad SNMP.

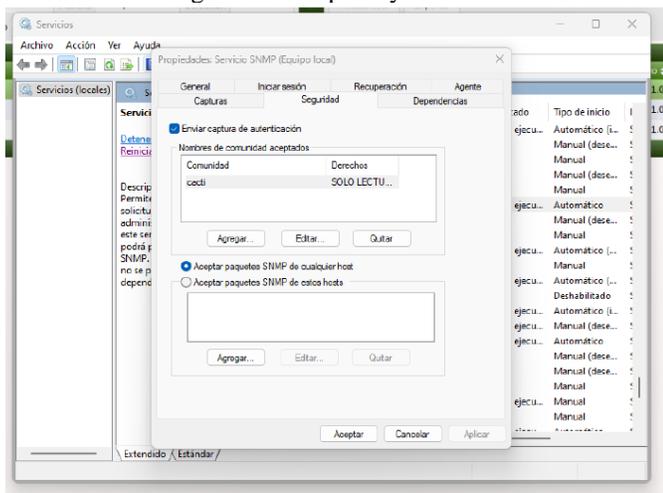


Fig. 6. Aspectos de configuración para la inclusión de una estación de trabajo con Windows

En este caso, la plantilla de Cacti es la de Windows Device, y de igual manera configura los otros parámetros mencionados en la configuración de la estación de trabajo de Linux.

Una vez que se lograron ingresar las tres estaciones, los estudiantes comienzan a configurar los indicadores de desempeño. En general, aunque los primeros cinco presentaron mayor cantidad de inconvenientes, todos lograron siempre la realización del laboratorio y lo más importante, la configuración de los parámetros y umbrales de operación. Por ejemplo, en una estación Linux se recolectó información durante 5 días sobre el uso del CPU, donde se obtuvieron gráficos como el mostrado en la figura 7.

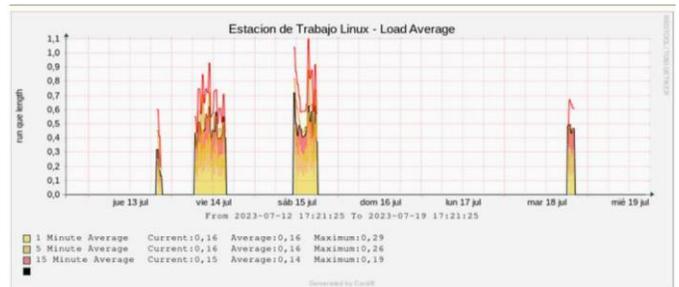


Fig. 7. Gráfico de carga de CPU en estación de trabajo Linux durante 5 días.

Otro caso realizado por otro estudiante fue agregar un Servidor Windows 2019, y obtuvo gráfico del procesador, uso de memorias, pero también obtuvo gráficas del Uptime de estos. En la figura 8 se observa como fue el comportamiento de este equipo en esa semana de medición.

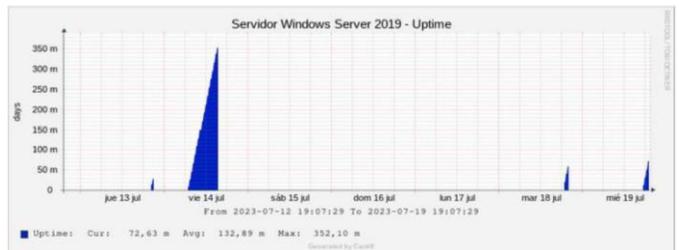


Fig. 8. Gráfico de carga de CPU en estación de trabajo Linux durante 5 días.

Esos son ejemplos gráficos de resultados obtenidos por los estudiantes en los laboratorios. Pero, también hay evidencia de los resultados desde la propia consola de la plataforma de gestión, en donde se logra ver como a un equipo se le configuraron una serie de sondas, y no solo una y como estas se ven en la pantalla normal de un operador de un centro de operación. Esto de muestra en la figura 9.

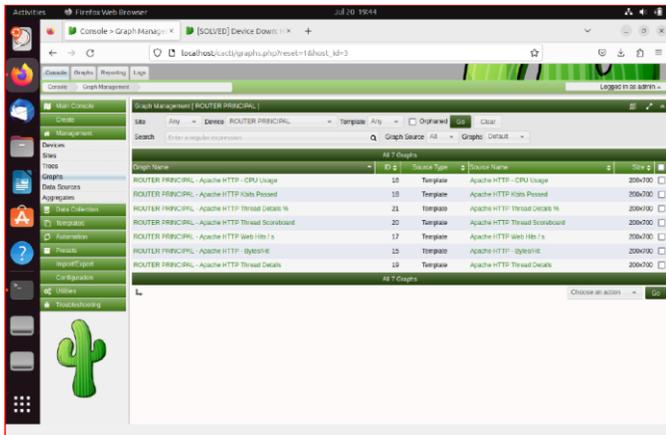


Fig. 9. Consola de sondas configuradas para un enrutador Cisco.

Este se accede a través de un servidor apache y a través de la GUI web, dentro de los parámetros que se capturan son: uso de CPU, bits transmitidos, porcentaje de amenazas, detalles de las amenazas, entre otros.

A partir del análisis de los distintos informes se denota que los estudiantes en esta práctica al no tener todos los pasos documentados y existir un espacio de personalización, relacionado a los tipos de equipos que se incorporan llevan a un proceso de análisis e investigación necesarios. Esto permite la adquisición de la competencia en los estudiantes y futuros profesionales para su aplicación en el campo profesional, porque interiorizan que el proceso no es tan metódico, sino que cada elemento tendrá variaciones.

### B. Trabajo Final de Graduación

A partir de la experiencia obtenida en la asignatura donde se aplica este laboratorio, un estudiante presentaba un problema en su organización referida a la gestión de equipos de respaldo electrógenos que no son de TI, pero que la empresa esta incorporando al país. Por lo cual, la temática le servía porque si se demostraba que eran capaces de ser incorporados utilizando programación a sistemas de gestión basados en SNMP, esto genera valor agregado a las ventas a los clientes, y elimina dudas sobre la interoperabilidad de los equipos.

Este proyecto se realizó durante el 2023, y si bien al final no utilizo la plataforma mencionada en el laboratorio, el estudiante señala la importancia de haber realizado este laboratorio en la asignatura, porque le abrió la oportunidad de implementar esto como una solución comercial. Precisamente el título del proyecto se denominó “Desarrollo de un modelo de gestión basado en una herramienta de código abierto para el monitoreo y control de unidades iPDU en las redes de datos a través del protocolo SNMP”. Esto demuestra la aplicación directa de este laboratorio porque generó motivación en el estudiante en investigar aplicativos de gestión abiertos para trabajar sobre elementos que no son TI.

En el proyecto de graduación el estudiante valoró cinco plataformas de gestión de código abierto, desde la cual

determinó la que era más factible en función de los equipos que la empresa esperaba fueran interoperables e interconectables a la gestión. La implementación del plan piloto siguió un proceso similar al laboratorio, instalación de un servidor virtual con Linux Ubuntu Server 22.04 LTS y ahí, la diferencia que no fue Cacti, sino que uso Zabbix. Posterior, realizó las configuraciones debidas para insertar los elementos de infraestructura que deseaba gestionar, semejante al proceso estudiado en el laboratorio y demostró las capacidades de gestión. La propuesta técnica a nivel general se observa en la figura 10.

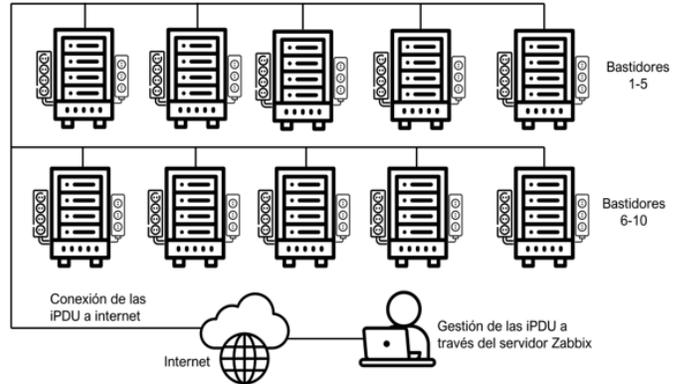


Fig. 10. Propuesta técnica de gestión de elementos de infraestructura electromecánica usando aplicaciones libres.

La configuración incluyó la creación de la comunidad, habilitación del protocolo en los elementos a gestionar, configuración de su conexión, creación de los hosts en la herramienta de gestión, configuración de los tiempos para toma de muestras y configuración de sondas, umbrales de operación, entre otros.

Este resultado es visible y demuestra la importancia del desarrollo de laboratorios con sistemas reales, aunque en condiciones controladas, para que la persona estudiante se sienta en la capacidad de aplicarlo en su campo profesional.

### C. Aplicación en el campo profesional

El área de gestión de redes en telecomunicaciones es un campo primordial para las telecomunicaciones, porque abarca tanto en redes públicas como privadas, el campo donde se visualizan los indicadores de desempeño de la red, se toman decisiones para la atención de situaciones anómalas y se optimizan estas, para que con los recursos limitados la red siga operando. Esta fue una de las competencias que en un estudio previo de la carrera, los egresados mencionaron que se estaba requiriendo en el mercado, porque son habilidades analíticas y asociadas al negocio de una organización [19].

Y esto se asocia al aumento exponencial no solo de aplicaciones e información de una red, sino el aumento de infraestructura tanto física como virtual que se conecta a la red. Desde la misma red de comunicaciones que se virtualiza, hasta redes que antes no tenían relación con las telecomunicaciones y que en la actualidad se conectan a la red

como las redes eléctricas inteligentes [20] y sistemas de recarga vehículos eléctricos [21], así como otras áreas, cada vez es mayor la necesidad de la gestión, porque los recursos son limitados y se requiere optimizarlos.

De ahí, que este tipo de laboratorios que brindan una formación en los principios de la gestión como es: visualización del monitoreo de elementos de red, comprensión práctica de modelos de red como la RGT, configuración de dispositivos y su incorporación a la base de datos de configuración, configuración de indicadores, interpretación de parámetros de tráfico, de consumo de recursos como CPU, memoria, entre otros, genera esa serie de competencias en los profesionales que saldrán graduados de la carrera.

Además, se valorar casos como el del proyecto de graduación, donde se aplican los conocimientos en función de un desarrollo nuevo que serviría como venta de valor de servicio agregado por parte de la empresa. En este caso, se demuestra que el objetivo del laboratorio y de la formación son los principios, no necesariamente es generar una formación en todo tipo de herramienta, por la variedad existente en el mercado no se pueden abarcar en la academia.

También, el afrontarse al proceso de instalación, configuración del ambiente, carga de los recursos, descubrimiento y otras actividades de la vida real, lo afronta a condiciones que hacen que no sea su zona de confort, y por lo tanto, generar un aprendizaje significativo mayor. Lo que como se demuestra en el proyecto de graduación, le sirvió de insumo básico para una labor aplicada y más bien, para desarrollo posteriores.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación del laboratorio y desarrollo de un trabajo de graduación como resultado de la motivación que este generó en el estudiante demuestra la necesidad de incluir experiencias reales para crear una experiencia profesional la formación profesional en el campo de las telecomunicaciones. Esto si implica, que las prácticas involucren el uso de plataformas reales, pero al alcance la población estudiantil.

También, se llegó a la conclusión del aporte de las TIC dentro del proceso de formación en el campo de las telecomunicaciones, pero bajo un proceso mediado y que no solo sea de replicación de pasos. En este caso, lo que más apporto fue que el laboratorio en su procedimiento deja espacios a elementos que personalicen la experiencia como son: tipos de equipos, versiones de los aplicativos, proceso de instalación dependiendo del tipo de servidor. Esto hace que el estudiante realice investigación y les da una habilidad distinta a solo ejecutar pasos.

Es importante señalar que, aunque el laboratorio es un ambiente controlado y una red pequeña doméstica, el ejercicio de dejarlo funcionando una semana, dos o tres días, configurar rendimiento y luego obtener gráficas para evaluación de rendimiento y tendencias, los hace denotar el ambiente normal de un centro de operaciones, donde a partir de esas gráficas se toman decisiones y se ejecutan acciones.

Las recomendaciones desde este trabajo realizado se enfocan en elaborar más prácticas asociadas al campo de gestión con escenarios más complejos, eso implica conseguir infraestructura dedicada de redes y virtualizar un servidor de gestión, para que los estudiantes no lo instalen en sus máquinas, sino trabajar en las plataformas de la carrera. Con ello, enfocarse en aspectos operativos, como generación de averías programadas, balanceo de tráfico, poblamiento de la CMDB, configuración de umbrales de equipos con mayor capacidad, y uso de otros protocolos de gestión.

## RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo a la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones y la Universidad Estatal a Distancia, por el apoyo en tiempo laboral a la exploración realizada en la creación de este laboratorio.

## REFERENCIAS

- [1] D. E. Comer, "Redes de Computadoras e Internet", México: Pearson Education, 2015.
- [2] J. R. Santamaria-Sandoval, «La gestión en redes definidas por software (SDN) desde la perspectiva de FCAPS», *Repertorio Científico*, vol. 23, n.º 2, pp. 1–12, dic. 2020.
- [3] J. R. Santamaría Sandoval, «Estrategia de implementación de B-learning en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, UNED Costa Rica», *MLSER*, vol. 7, n.º 1, nov. 2022, pp. 24 – 44, doi: 10.29314/mlser.v7i1.918
- [4] J. R. Santamaría-Sandoval, E. Chanto-Sánchez, y M. Soto-Calderón, «Aplicación de laboratorios virtuales en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, UNED», *CAES*, vol. 13, n.º 2, pp. 88–106, nov. 2022.
- [5] C. Arguedas-Matarrita et al., "Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps," 2019, 5th Experiment International Conference (exp.at'19), Funchal, Portugal, 2019, pp. 208-212, doi: 10.1109/EXPAT.2019.8876553.
- [6] N. Ellsworth, S. Troia, T. Zhang, M. Tacca, G. Maier and A. Fumagalli, "Experimental Demonstration and Results of Cross-layer Monitoring Using OpenNOP: an Open Source Network Observability Platform," 2023 23rd International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Bucharest, Romania, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON59386.2023.10207328.
- [7] M. Bender, E. Kirdan, M. -O. Pahl and G. Carle, "Open-Source MQTT Evaluation," 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369499.
- [8] V. Kjorveziroski, P. V. Vuletic, L. Lopatowski and F. Loui, "On-Demand Network Management with NMaas: Network Management as a Service," *NOMS 2022-2022 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, Budapest, Hungary, 2022, pp. 1-3, doi: 10.1109/NOMS54207.2022.9789815.
- [9] C. C. Li, Z. S. Ji, F. Wang, P. Wang, Y. Wang and Z. C. Zhang, "The network monitoring system based on Cacti for EAST," 2016 IEEE-NPSS Real Time Conference (RT), Padua, Italy, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/RTC.2016.7543086.
- [10] N. Muralimanohar, R. Balasubramonian and N. Jouppi, "Optimizing NUCA Organizations and Wiring Alternatives for Large Caches with CACTI 6.0," 40th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO 2007), Chicago, IL, USA, 2007, pp. 3-14, doi: 10.1109/MICRO.2007.33.
- [11] C. So-In, C. Netphakdee, K. Wijitsopon, C. Panichayanubal and P. Seresantakul, "Web-based automatic network discovery/Map Systems," 2011 IEEE International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), Penang, Malaysia, 2011, pp. 416-421, doi: 10.1109/ICCAIE.2011.6162171.

- [12] M. B. de Carvalho and L. Z. Granville, "Incorporating virtualization awareness in service monitoring systems," 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011) and Workshops, Dublin, Ireland, 2011, pp. 297-304, doi: 10.1109/INM.2011.5990704
- [13] M. Zafar and S. I. Cheema, "An Efficient Architecture for Network Information Management," 2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT), San Jose, CA, USA, 2020, pp. 462-468, doi: 10.1109/ICICT50521.2020.00080.
- [14] L. Balik, J. Horalek, V. Sobeslav and O. Hornig, "Remote laboratory for computer networks," 2014 5th International Conference on Data Communication Networking (DCNET), Vienna, Austria, 2014, pp. 1-7.
- [15] J. A. Sanchez-Viloria, L. F. Zapata-Rivera, C. Aranzazu-Suescun, A. E. Molina-Pena and M. M. Larrondo-Petrie, "Online Laboratory Communication Using MQTT IoT Standard," 2021 World Engineering Education Forum/Global Engineering Deans Council (WEEF/GEDC), Madrid, Spain, 2021, pp. 550-555, doi: 10.1109/WEEF50521.2021.9647095.
- [16] PRISMA, "PRISMA TRANSPARENT REPORTING of SYSTEMATIC REVIEWS and META-ANALYSES.", 2017. <http://prismastatement.org/prismastatement/flowdiagram.aspx>.
- [17] Institute of Design at Stanford, "Mini guía: una introducción al Design Thinking + Bootcamp bootleg", <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/14439/GU%c3%8dA%20DEL%20PROCESO%20CREATIVO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] D. T. Vojnak, B. S. Đorđević, V. V. Timčenko and S. M. Štrbac, "Performance Comparison of the type-2 hypervisor VirtualBox and VMWare Workstation," 2019 27th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971213.
- [19] J. R. Santamaría Sandoval and E. Chanto Sánchez, "Society 5.0 Competences in Telecommunications Engineering Graduates, UNED, Costa Rica," in IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 17, no. 4, pp. 371-378, Nov. 2022, doi: 10.1109/RITA.2022.3217194.
- [20] F. Aguirre, J. Alemany, J. Lin and F. Magnago, "Gestión de la demanda eléctrica para clientes residenciales," 2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), Bariloche, Argentina, 2014, pp. 628-633, doi: 10.1109/ARGENCON.2014.6868562.
- [21] M. M. Perdomo, U. Manassero and J. R. Vega, "Gestión de la Recarga de Vehículos Eléctricos y su Impacto sobre la Red de Distribución," 2021 IEEE URUCON, Montevideo, Uruguay, 2021, pp. 311-315, doi: 10.1109/URUCON53396.2021.9647095.