



**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO
DE ACCESO REMOTO USANDO REDES DEFINIDAS EN SOFTWARE**

**PROYECTO DE GRADO
ANA MILENA ROJAS CALERO**

**Asesor
ALVARO PACHÓN DE LA CRUZ
D.E.A. en Tecnologías de Información**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y
COMUNICACIONES**

MAESTRÍA EN GESTIÓN INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES

SANTIAGO DE CALI

2012

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO
DE ACCESO REMOTO USANDO REDES DEFINIDAS EN SOFTWARE**

ANA MILENA ROJAS CALERO

**Trabajo de grado para optar al título de
Máster en Gestión en Informática y Telecomunicaciones**

Asesor

ALVARO PACHÓN DE LA CRUZ

D.E.A. en Tecnologías de Información



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y
COMUNICACIONES
MAESTRÍA EN GESTIÓN INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES
SANTIAGO DE CALI**

2012

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santiago de Cali, Junio 26 de 2012

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	10
1. ASPECTOS GENERALES	14
1.1 <i>CONTEXTO DE TRABAJO</i>	14
1.2 <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	17
1.3 <i>OBJETIVOS</i>	18
1.3.1 <i>Objetivo General.</i>	18
1.3.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	18
1.4 <i>RESUMEN DEL MODELO PROPUESTO</i>	18
1.5 <i>RESULTADOS OBTENIDOS</i>	21
1.6 <i>ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO</i>	21
2. MARCO TEÓRICO	23
3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA	31
3.1 <i>Alcance y funcionalidades</i>	31
3.2 <i>Stakeholders</i>	35
3.3 <i>Expectativas de los Stakeholders.</i>	36
3.4 <i>Demografía de los stakeholders</i>	37
3.5 <i>Motivadores Arquitecturales</i>	38
3.6 <i>Restricciones del Negocio</i>	39
3.7 <i>Restricciones de Tecnología</i>	40
3.8 <i>Presunciones</i>	41
3.9 <i>Atributos de Calidad</i>	41

3.10	<i>Estilos y Tácticas Arquitecturales</i>	44
3.11	<i>Listados de Casos de Uso por autor</i>	46
4.	MODELO PROPUESTO	52
4.1	<i>ANALISIS DE LA RED</i>	52
4.1.1	Geografía del evento	52
4.1.2	Identificación de Servicios	54
4.1.3	Matriz de usuarios Vs Servicios	55
4.1.4	Mapa de Aplicaciones	56
4.1.5	Identificación de Flujos de información	57
4.1.6	Identificación de servicios y Flujos de información	58
4.1.7	Clasificación de las aplicaciones.	61
4.1.8	Características de desempeño de las aplicaciones.	62
4.1.9	Identificación de flujos individuales	62
4.1.10	Identificación de Flujos de backbone	66
4.2	<i>Diseño de la Arquitectura del Laboratorio Remoto</i>	66
4.2.1	Diseño de la arquitectura de la red del campus	68
4.2.2	Diseño del Direccionamiento IP	70
4.2.3	Asignación del Direccionamiento IP	72
4.2.4	Diseño del laboratorio de redes	73
4.3	<i>Mecanismos para la gestión de la red</i>	73
5.	VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA	75
5.1	<i>Experimento 1- Prototipo de una topología de red definida en software SDN.</i>	75
5.2	<i>Topología de red</i>	76
6.	RESULTADOS OBTENIDOS	82
7.	CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO	85
ANEXO 1		88

LISTA DE CUADROS

pág.

Tabla 1. Controladores OpenFlow	27
Tabla 2. Herramientas de código abierto para OpenFlow	30
Tabla 3. Listado de requerimientos de los usuarios.....	35
Tabla 4. Descripción de los Stakeholders.....	36
Tabla 5 Expectativas de los Stakeholders.....	37
Tabla 6. Motivadores del negocio MV01.	38
Tabla 7. Motivador del Negocio MV02	38
Tabla 8 Motivador del negocio MV03	39
Tabla 9. Restricciones del negocio RNEG-01.....	39
Tabla 10. Restricciones del negocio RNEG-02	40
Tabla 11. Restricciones de tecnología RTEC-01	40
Tabla 12. Restricción Tecnológica RTEC-03.....	40
Tabla 13. Restricción Tecnológica RTEC-04.....	41
Tabla 14 Escenario de disponibilidad 01.....	42
Tabla 15. Escenario de disponibilidad 02	42
Tabla 16. Escenario de disponibilidad 03	43
Tabla 17. Escenario de confiabilidad 01	43
Tabla 18. Escenario de seguridad 01	43
Tabla 19. Escenario de desempeño 01	44
Tabla 20. Escenario de desempeño 02	44
Tabla 21 Caso de Uso CU01, Monitorio y seguimiento de estudiantes	47

Tabla 22 Caso de uso CU02- Gestionar reserva de laboratorio	48
Tabla 23 Caso de Uso CU03 Ejecutar práctica del laboratorio.....	48
Tabla 24 Caso de Uso CU04 Consulta de laboratorios	49
Tabla 25. Caso de Uso CU05 Consulta de Objeto de Aprendizaje	50
Tabla 26. Caso de Uso CU06 Ejecutar experimentos.....	51
Tabla 27. Identificación de Usuarios del Sistema.....	53
Tabla 28. Identificación de servicios del Laboratorio de Acceso Remoto	55
Tabla 29. Descripción de Servicios y Flujos de información	58
Tabla 30. Clasificación de aplicaciones.	61
Tabla 31. Características de desempeño de las aplicaciones.....	62
Tabla 32 Tabla de direccionamiento IP	72
Tabla 33. Asignación de direcciones IP a dispositivos de red.....	72
Tabla 34. Descripción de comandos ejecutados en CLI de Mininet	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ejes de acción del Plan Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.	14
Figura 2. Redes definidas en software en redes de campus	24
Figura 3. El switch OpenFlow, es controlado por un controlador remoto, a través de un canal seguro.	27
Figura 4. Entrada de una tabla de flujos.....	29
Figura 5. Demografía de los stakeholders	37
Figura 6. Geografía del evento	52
Figura 7. Componentes del sistema.....	54
Figura 8. Mapa de aplicaciones.....	57
Figura 9. Identificación de flujos de información para el uso del laboratorio remoto.	59
Figura 10. Servicio: consulta de Objetos Virtuales de Aprendizaje.....	59
Figura 11. Identificación de flujos hacia al servidor de videoconferencia.....	60
Figura 12. Identificación de Flujos para sistema e-learning (moodle) y gestión de contenidos (joomla).....	60
Figura 13. Acceso controlado a los recursos.....	61
Figura 14. Topología jerárquica en el mundo real.....	67
Figura 15. Diseño de la arquitectura de la red de campus.....	69
Figura 16 Diseño de la red del campus, identificación de DM y DMZ.....	70
Figura 17 Diseño del laboratorio de redes.....	73
Figura 18 Topología de red.....	76
Figura 19. Objeto Virtual de aprendizaje: configuración básica de un router	82
Figura 20. Objeto virtual de aprendizaje: Protocolos de enrutamiento	83

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Instalación y configuración de entorno de pruebas con Mininet.....	85
--	-----------

RESUMEN

En este documento, se presenta la propuesta para la implementación de un laboratorio de acceso remoto, usando redes definidas en software (SDN). Los principales problemas que motivaron el desarrollo de esta investigación están: la limitada disponibilidad de recursos de laboratorios físicos, para realizar las prácticas de redes y las barreras que tiene los investigadores para avanzar en el desarrollo de nuevos proyectos de investigación.

Dentro de los objetivos propuestos está la definición de las interfaces de experimentación de tal forma que estas puedan ser accedidas desde internet y el diseño de la arquitectura del laboratorio. Como caso práctico la evaluación de la funcionalidad de la de la arquitectura utilizando un prototipo en un entorno simulado y por último el diseño e implementación de dos objetos virtuales de aprendizaje como apoyo al desarrollo de contenidos e-learning para facilitar la labor docente en el área de redes.

Palabras claves: Laboratorio remoto, redes definidas en software, arquitectura de red, objetos virtuales de aprendizaje, contenidos e-learning, protocolo OpenFlow

Abstract

This document proposes the implementation of a remote access laboratory, using Software Define Networks (SDN). Among the main issues that inspire the development of this research are: the limitation in the availability of physical laboratories resources to perform network practices and the obstacles the researchers encounter to advance in the development of new research projects.

Between the proposed objectives are the definition of the experimental interfaces in a way that they may be accessed through the internet and also the design of the laboratory architecture. As a practical case, the evaluation of the functionality of the architecture using a prototype in a simulated environment and lastly the design e implementation of two learning virtual objects to support to the development of e-learning content to facilitate the instructor's effort in the network area.

Key words: Remote Laboratory, Software Define Networks, Network Architecture, Learning Virtual Objects, e-Learning Content, OpenFlow Protocol.

0. INTRODUCCIÓN

Los avances en las Tecnologías de Información y Comunicaciones, el incremento de usuarios de servicios de banda ancha, han permitido el desarrollo de aplicaciones web que facilitan el acceso a los recursos físicos, dando lugar al concepto de la “laboratorio remoto”, definido como aquel que existe y puede ser manipulado de forma remota a través de Internet, haciendo uso de Webcams, hardware específico para la adquisición local de datos y software para dar una sensación de proximidad con el equipamiento, permitiendo a los usuarios interactuar con los recursos físicos en tiempo real, sin limitaciones de horario y sin necesidad de desplazarse a un espacio físico.

En la actualidad los laboratorios remotos, son utilizados en diversas ramas de la ingeniería, como apoyo a los programas formales y la educación a distancia, debido a que son parte importante en la formación de estudiantes, ya que permiten reforzar el conocimiento teórico y el desarrollo de competencia a través de prácticas de laboratorio.

En Colombia, no se conocen antecedentes de laboratorios de acceso remoto usando redes definidas en software. Sin embargo el desarrollo de redes programables, utilizando el protocolo OpenFlow, hacen posible que utilizando la virtualización en switch y routers, se puedan procesar paquetes para múltiples redes simultáneamente en las redes de acceso.

Las redes programables pueden superar las limitaciones en la entrada de nuevas ideas y proyectos de investigación e innovación en la infraestructura de redes, puesto que los investigadores pueden llevar a cabo experimentos, sobre dispositivos heterogéneos, sin que los vendedores expongan el funcionamiento interno de los dispositivos y sin interrumpir el tráfico de producción. OpenFlow, es un protocolo abierto, nace como una propuesta académica para hacer investigación en las redes académicas, sin embargo su aplicación, podría llegar a las redes comerciales en un futuro.

La construcción de laboratorios es una tarea compleja puesto que se debe construir una infraestructura de acceso remoto que permita integrar la información obtenida a partir de diferentes medios y presentarla a los alumnos dentro de una plataforma amigable, multiplataforma y fácil de configurar, como pueden ser los navegadores Web, proporcionando unos parámetros aceptables de calidad de servicio. [1]

El desarrollo de la propuesta de investigación, está organizada en 7 capítulos:

Capítulo 1. **Aspectos generales**, que incluye el contexto del trabajo, la descripción del problema y la formulación de objetivos generales y específicos.

Capítulo 2. **Marco teórico**, se centra en presentar el estado del arte del uso de laboratorios remotos, en el ámbito local e internacional. Así mismo se describen los proyectos de dos laboratorios virtuales, que se encuentran funcionando actualmente en la Universidad de Stanford EE.UU (proyecto GENI, más conocido como medio ambiente global para la innovación en redes) y en Japón el proyecto JGN2Plus. Al final del capítulo se hace una descripción del protocolo OpenFlow, se describe el funcionamiento de un switch OpenFlow. De la misma manera el desarrollo varios controladores OpenFlow para plataformas de sistemas operativo Linux y un listado de aplicaciones desarrolladas para redes programables, que incluyen: analizadores de tráfico, simuladores de red, software de virtualización entre otros.

Capítulo 3. **Arquitectura del software**, siendo el diseño de más alto nivel de la estructura de un sistema. Se considera el hecho de que no todos los usuarios tienen los mismos intereses, necesidades y expectativas. Así mismo se clasifican los requerimientos funcionales y los que son arquitecturalmente significativos, además se identifican los motivadores del negocio al igual que las restricciones tecnológicas y del negocio, De igual forma se definen los atributos de calidad, estilos y tácticas arquitecturales y el listado de casos de uso fachada del sistema propuesto.

Capítulo 4. **Modelo Propuesto**: aquí se describe el análisis del diseño de la arquitectura del laboratorio, teniendo en cuenta los requerimientos de los stakeholders, la geografía de los eventos, para posteriormente hacer un análisis profundo que consistió en identificar los flujos de las aplicaciones, no con la intención de mostrar cada uno de los flujos, sino los más significativos y que tendrán mayor impacto dentro del diseño de la arquitectura de red. Así mismo se identifican las aplicaciones y servicios y se hace una clasificación de flujos individuales, especificando variables como: confiabilidad, retardo, variación, número de usuarios y el volumen de información de cada flujo.

El resultado del Análisis de flujos individuales, se utiliza para calcular los flujos de backbone, que no son más que la sumatoria de flujos individuales de cada una de las subredes. Finalmente se define la arquitectura del laboratorio, como una red jerárquica de tres niveles, el primer nivel esta la capa de núcleo, en el segundo nivel se detalla la capa de distribución y en el tercer nivel la capa de acceso. En la última sección se define el direccionamiento IP del laboratorio este incluye las direcciones IP de las interfaces de los dispositivos de red, las subredes y los equipos de cada una de las subredes.

Capítulo 5. **Validación de la propuesta**: se define una topología de red prototipo, para ello se crea un programa de la topología en el lenguaje de programación Python, Esto porque el software de simulación Mininet, una plataforma escalable para la simulación de redes definidas en software, provee una interface de programación para Python.

Con el desarrollo de este prototipo se hace una primera aproximación hacia una red programable definida en software. También se realizan las pruebas de envío de paquetes y verificación de la configuración de las interfaces de los dispositivos y tablas ARP, utilizando la interfaz de línea de comandos del switch Openflow virtual. El cual se encuentra conectado internamente a un controlador NOX.

Toda la red se puede empaquetar en un entorno virtual, se pueden adicionar nodos y switch, sin ninguna limitación. Estos diseños se pueden correr posteriormente en un entorno real.

Capítulo 6. **Resultados Obtenidos.** En este capítulo se presenta de forma detallada el resultado del trabajo de investigación, la arquitectura de software, la arquitectura de red del laboratorio de acceso remoto, el prototipo de experimentación y la construcción de dos objetos virtuales de aprendizaje.

Capítulo 7. **Conclusiones y trabajo futuro.** En este capítulo se describen las conclusiones del trabajo de investigación y el trabajo futuro.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 CONTEXTO DE TRABAJO

El Plan Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [1], es la estrategia nacional para la utilización de las TIC en Colombia. Entre sus objetivos, el Plan está orientado a contribuir en el fortalecimiento de las políticas de inclusión y de equidad social y a mejorar la competitividad del país. Para esto, el Plan propone una serie de políticas, acciones y proyectos distribuidas/organizadas en ocho ejes principales: cuatro transversales y cuatro verticales.

En la **Figura 1**. Se muestran los ejes transversales que cubren los aspectos y los programas que tienen efecto sobre los distintos sectores y grupos de la sociedad. Estos ejes son: comunidad, marco regulatorio, investigación, desarrollo e innovación y gobierno en línea. Los ejes verticales se refieren a programas que ayudarán a lograr una mejor apropiación y uso de las TIC en varios sectores. Estos ejes son: educación, salud, justicia y competitividad empresarial.



Figura 1. Ejes de acción del Plan Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Fuente: Plan Nacional de TIC 2008 -2019

En materia de educación el ministerio de comunicaciones pretende consolidar a las TIC como una plataforma para: mejorar la cobertura y la calidad de los

servicios educativos, fortalecer la fuerza laboral en el uso de las TIC y promover la generación de contenidos educativos.

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, [2] son herramientas que apoyan la productividad y la competitividad de un país. Las TIC permiten a los usuarios jugar un papel central en la innovación, promover la generación de conocimiento y nuevos negocios. El acceso y uso de las TIC, permite el despliegue y uso eficiente de la infraestructura, el desarrollo de contenidos y aplicaciones.

La formación de capital humano en estas tecnologías se constituye en la base para la consolidación de las sociedades de la información y del conocimiento, la adopción de estas tecnologías permitirá desarrollar nuevos servicios y fortalecerá los procesos de enseñanza en el ámbito universitario.

El Ministerio de Educación Nacional, el Ministerio de TIC y Colciencias buscan favorecer el uso de las tecnologías de información y las comunicaciones en los procesos educativos para ampliar cobertura, mejorar la calidad, pertinencia y la generación de contenidos educativos. También se articulan otras iniciativas entorno al desarrollo e investigación a través de las Redes Académicas de Alta Velocidad y RENATA (*Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada*).

En el enfoque tradicional, la educación se ha impartido de forma presencial, sin embargo, el crecimiento de las redes de datos y el uso de computadores y acceso a Internet banda ancha, ha permitido diseñar laboratorios remotos e interactivos, permitiendo una mejor utilización de los recursos de hardware y software y sobre todo, romper barreras geográficas y sociales permitiendo que estudiantes de cualquier condición social y ubicación geográfica puedan acceder remotamente, a través Internet, a los equipos disponibles en el laboratorio físico, reduciendo en un alto porcentaje la dependencia del espacio físico y limitaciones de horario que se presentan a menudo en un entorno universitario.

De esta forma el estudiante puede validar los conocimientos teóricos, desde cualquier lugar para validar diseños de mediana complejidad, empleando herramientas reales de diseño, con una sola conexión a internet y un navegador web. Esto permitirá a los estudiantes adquirir las destrezas y habilidades, indispensables en el desarrollo de competencias para su desarrollo profesional.

Internet ha propiciado nuevas formas y métodos de trabajo en las organizaciones y por supuesto el sector académico no ha estado ajeno a ello. En efecto el Internet posee una cualidad, cada vez más importante, sobre todo en los procesos de enseñanza aprendizaje a través de la web.

Dentro de las ventajas de implementar un laboratorio remoto se pueden mencionar: el aprovechamiento de recurso tanto humano, como de los materiales

de los laboratorios presenciales, ampliar la oferta horaria a estudiantes e investigadores, el desarrollo de práctica a estudiantes incapacitados y apoyo a estudiantes y docentes.

El acceso vía web no requiere de una apertura del laboratorio en forma constante y puede ser accedido en caso de no encontrarse abierto el espacio físico; tampoco requiere de una persona que se esté constantemente supervisando las actividades en el laboratorio, puesto que la probabilidad de pérdida o destrucción de elementos es baja y el control de acceso y protección del hardware es realizado por medio de una validación software realizada dentro del mismo laboratorio.

Al ampliar la oferta horaria, tanto a estudiantes como a los investigadores, permite realizar el trabajo del laboratorio sin límites espaciales y temporales, es posible llevar a cabo experimentos de forma estructurada o incluso más abierta, los estudiantes desarrollan habilidades de resolución de problemas, observación, interpretación y análisis de los resultados, de forma similar a la forma en la cual los investigadores realizan su trabajo, permitiendo en muchos casos la visualización de los experimentos al permitir al estudiante como al investigador, observar e interactuar con el laboratorio desde su computador.

Los datos obtenidos a partir del experimento realizado no son producto de una simulación, lo cual es un indicativo real de la situación que se desea analizar. Dado que un laboratorio remoto es accedido vía web, permite el aprovechamiento del tiempo. Esto en el ámbito académico, el aprovechamiento de recursos físicos de forma eficiente.

Para un estudiante que presente alguna incapacidad física, es una forma de integración que incentiva el auto-aprendizaje y facilita el desarrollo de las prácticas designadas por el docente, lo que se convierte en una oportunidad de crecimiento para la universidad.

La implementación de modelos flexibles para el acceso al sistema educativo, garantiza el acceso a una educación pertinente a través de estrategias incluyentes diseñadas para garantizar que todos los estudiantes independientemente de su procedencia, situación social, económica, cuenten con condiciones y oportunidades para adquirir conocimientos y desarrollar las competencias básicas, profesionales y laborales. A nivel mundial varios gobiernos buscan la manera de reducir considerablemente la brecha digital. En Colombia el Ministerio de Educación Nacional ha definido un conjunto de programas y de proyectos en el PLAN DE TIC 2010-2019 que se están implementando en un plan conocido como “revolución educativa”, que busca mejorar el acceso de las personas en el uso de TIC, el marco de una política de calidad, cobertura e inclusión educativa, que comprende a individuos e instituciones educativas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los procesos de enseñanza tradicional de las redes de datos, la realización de prácticas experimentales de laboratorio sobre sistemas reales, resultan ser de suma importancia, puesto que ayudan al estudiante a asimilar los conceptos teóricos y a desarrollar competencias para su futura actividad profesional.

Sin embargo, existen limitaciones geográficas, espaciales y modelos educativos poco flexibles, que dificultan la inclusión de estudiantes al sistema educativo y el acceso a las nuevas tecnologías, como son las restricciones de horarios y el acceso a espacios físicos de laboratorios especializados. Diariamente los estudiantes se ven limitados para realizar sus prácticas de experimentación porque los laboratorios no siempre están disponibles, haciendo imprescindible la restricción de acceso a los mismos en horarios pre-establecidos.

En los procesos de investigación, los investigadores se ven enfrentados a las restricciones sobre los ambientes de producción, los equipos y los protocolos, lo cual dificulta el desarrollo de procesos de investigación en los centros de datos, creando una barrera muy alta en el desarrollo de nuevas ideas. Igualmente los fabricantes de dispositivos de conectividad, proporcionan solo implementaciones propietarias, cada proveedor tiene su propia API (*Aplicación Programming Interface, Interfaz de Programación de Aplicación*) y software. Esto limita la capacidad de diseñar y gestionar el tráfico en equipos de diferentes fabricantes; dificultando la administración los centros de datos y la posibilidad de probar experimentos sobre escenarios realistas.

Como están concebidas las redes actuales, los investigadores se encuentran limitados en el intento de probar nuevos protocolos de enrutamiento a gran escala sobre redes reales. Esto es esencialmente una de las razones principales por las que la infraestructura de red se ha mantenido estática e inflexible y sin grandes avances en esta dirección.

Aunque el desarrollo de laboratorios remotos no es un tema nuevo, data de los años noventa, en la búsqueda de antecedentes no se encuentra ninguna propuesta en la definición de una arquitectura de referencia para el desarrollo de laboratorios remotos en redes definidas en software. Así como un proceso de diseño para su implementación en las redes académicas del suroccidente de Colombia.

Las redes definidas en software (SDN, Software Defined Networking), las nuevas tecnologías de la información y el creciente uso de Internet, hace posible mediar esta problemática, mediante el uso de protocolos abiertos y laboratorios remotos resulta posible incrementar la capacidad de gestionar centros de datos, disponibilidad del recurso en horarios extendidos y la posibilidad de utilizar

equipos costosos, en tiempos compartidos; por otra parte, permite a los estudiantes realizar las prácticas de laboratorios desde su casa, sin tener que desplazarse a un sitio físico, solucionando así el problema de prácticas de laboratorio, que requieren el uso de equipamiento especializado.

Con el desarrollo de un laboratorio remoto en el área de Redes, busca dotar a las universidades del suroccidente de Cali de ambientes de trabajo, donde puedan validarse experiencias formativas, con acceso a través de la web y estudiar la viabilidad de compartir espacios físicos con otras universidades. Además de diseñar estrategias colaborativas en torno al desarrollo de contenidos y proyectos de investigación que se articulen a través de las redes académicas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar una arquitectura para un laboratorio de remoto definido en software en el área de redes, que facilite la incorporación y la creación de interfaces de experimentación para estudiantes e investigadores y que promueva la innovación e investigación en los procesos de enseñanza aprendizaje.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Diseñar las interfaces de experimentación para estudiantes y los investigadores utilizando una red definida en software de tal forma que estas resulten accesibles desde Internet.
- Definir la arquitectura del laboratorio remoto.
- Evaluar la funcionalidad de la arquitectura a través de un experimento de red en un entorno simulado.
- Diseñar dos objetos virtuales de aprendizaje, como instrumento de apoyo a la labor docente.

1.4 RESUMEN DEL MODELO PROPUESTO

Previo al análisis y diseño de la arquitectura de red, se inicia con el análisis de la arquitectura de software. El cuál es muy importante, porque nos ayuda a comprender requisitos funcionales de las aplicaciones. Estos son requisitos muy importantes ya que constituyen la base de las expectativas de los stakeholders.

Para el análisis y diseño de la infraestructura de la red, hay que tener en cuenta que la arquitectura del software, no es independiente y que las redes deben considerarse como parte de un sistema que entrega servicios a usuarios y

aplicaciones. Al hacer este análisis se tendrá una visión muy amplia de las aplicaciones y servicios que la infraestructura de red tendrá que soportar.

El análisis de la red empieza con la identificación de la geografía de la red. Usualmente hay algunas aplicaciones que residen en varios dispositivos, sin embargo hay aplicaciones que se agrupan en un determinado usuario ó grupo de usuarios en un edificio o campus. Siempre que sea posible, es necesario identificar estas aplicaciones y dónde se aplican, puesto que esto ayudará a identificar la cartografía de los flujos de información. Durante el proceso de análisis de flujos de información.

El siguiente paso en el análisis de la red, es la identificación de servicios y usuarios de red, el resultado de este trabajo permite construir una matriz de usuarios Vs servicios. Este análisis es clave en el análisis de requisitos, el resultado de este análisis permite construir el mapa de aplicaciones.

En el mapa de aplicaciones, se identifican los usuarios y sistemas externos que interactúan en la solución propuesta, en este caso la plataforma e-learning es moodle, por tanto debe existir una integración del laboratorio con este aplicativo. A través del diseño de interfaces. Esto mismo aplica para el administrador de contenidos Joomla.

A menudo las aplicaciones deben tener un alto rendimiento ó tener un comportamiento predecible garantizado, para soportar los requerimientos de los usuarios que incluye: calidad, adaptabilidad, seguridad, oportunidad entre otros. Por lo tanto las necesidades de los usuarios tienen un impacto en las aplicaciones.

Basándose en los requisitos y desempeño de las aplicaciones, es necesario determinar si la aplicación es de mejor esfuerzo ó si necesita un servicio garantizado y predecible. Por ello una vez identificadas las aplicaciones se clasifican y se determina individualmente las características de desempeño indicando, el tipo de aplicación, tasa, confiabilidad, retardo y variación para cada una por separado.

Las ubicaciones de los usuarios, el mapa de aplicaciones y la identificación características de desempeño, son la base para estimar donde el tráfico fluirá a través de la red, en dónde es probable que ocurran y que niveles de rendimiento requerirá. La intención no es identificar todos los flujos de información, se identifican los que mayor impacto tiene en el diseño de la red, al igual que los sumideros, fuentes de datos y flujos compuestos.

Los flujos¹ (también conocido como los flujos de tráfico o flujos de datos) son conjuntos de tráfico de la red (aplicación, protocolo, y la información de control)

¹ McCABE James Network Architecture and Design. 3rd New York 2007, pag 161.

que tienen atributos comunes, tales como fuente / dirección de destino, el tipo de información, la direccionalidad de extremo a extremo.

En la tabla 29, se identifican los flujos de información indicando el sitio, información que se intercambia (flujo), fuente y destino. Posteriormente se identifican los flujos (más significativos) y servicios, indicando los sumideros (servidores donde esta almacena la información). Si el flujo es compuesto es decir una información de origen a una nueva información, estos diagraman en doble, seguido de una letra: por ejemplo f1a, f1b.

En la identificación de flujos individuales se estiman las siguientes variables: capacidad, confiabilidad, retardo, variación, número de usuarios y volumen de información. Este último se multiplica por el número de usuarios para obtener el volumen total del flujo. El análisis de flujos, muestra una perspectiva de extremo a extremo sobre los requisitos y muestra dónde estos se combinan e interactúan.

El resultado de este análisis nos brinda información, también proporciona información que es muy útil en el diseño de la red, para la configuración de switch y routers. Al terminar el análisis de flujos individuales, se calculan los flujos de backbone para cada una de las subredes.

La sumatoria de todos los flujos nos da la capacidad de canal, requerido en la espina dorsal del campus para cada una de las subredes. Con este proceso se cierra la etapa de análisis y se da inicio a la etapa de diseño de la arquitectura de la red.

El diseño de la Arquitectura de la red se tiene en cuenta factores como: componentes de la arquitectura de red, direccionamiento, enrutamiento, seguridad y estrategias de monitoreo entre otros.

En el diseño de la arquitectura de red se contempla una red de tres capas que utiliza un modelo jerárquico, por su capacidad de expansión y escalabilidad. El diseño contempla la creación de tres regiones ó subredes (académica, administrativa, investigación), las cuales tienen funciones comunes en los flujos de información.

Seguidamente se definen que información debe estar en una zona militarizada (DM) y que información puede ser accedida desde internet, por lo cual debería estar en una zona desmilitarizada (DMZ).

Para la configuración de direcciones IP, se utiliza Máscaras de Longitud Variable (VLSM) y direccionamiento clase C. Esta información esta en la tabla 32. Así mismo se hace la distribución de direcciones IP y se asignan las direcciones IP a los dispositivos de red.

La seguridad, es un componente importante ya que determina el grado de seguridad y la privacidad que se llevará a cabo en la red, donde las áreas críticas deben ser protegidas y cómo va a repercutir e interactuar con otros componentes arquitectónicos. Esto comprende los mecanismos utilizados para aplicar la seguridad, que pueden incluir hardware, software, encriptación, firewalls, filtros de enrutamiento entre otros.

El seguimiento y monitoreo de la red, representa la recolección de información de enlaces y dispositivos de red. Existen herramientas para realizar esta labor tales como: Analizadores de tráfico (Wireshark), herramientas de gestión de red SNMP (Simple Network Management Protocol - Protocolo simple de administración de red).

1.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos de la propuesta de investigación son:

- La publicación de un artículo “Las redes definidas en software (SDN), posibilitan la innovación y la investigación en las redes de campus universitarios”
- Diseño de la arquitectura de software.
- Diseño de la arquitectura de red del laboratorio de redes.
- Diseño de un prototipo de redes definido en software y las pruebas de implementación en un entorno simulado utilizando el software Mininet.
- Diseño e implementación de dos objetos virtuales de aprendizaje, como herramientas de apoyo a los procesos de docencia en el área de redes.

1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

Este documento se compone de los siguientes capítulos:

Aspectos generalidades del proyecto: contiene la descripción del problema, objetivo general, objetivos específicos y resumen del modelo propuesto.

Marco teórico: contiene la definición de las redes definidas en software utilizando como protocolo de comunicaciones OpenFlow y el estado del arte.

Modelo propuesto: contiene la definición de la arquitectura de software, descripción de los stakeholders y sus expectativas, los motivadores arquitecturales, restricciones tanto tecnológicas como del negocio, presunciones, escenarios de calidad y sus respectivas tácticas arquitecturales y listado de casos de uso.

Análisis y Diseño de la Red: contiene la geografía del evento, identificación de servicios, matriz de usuarios Vs Servicios, mapa de aplicaciones, identificación de flujos de información, clasificación de aplicaciones, requerimiento de desempeño de las aplicaciones, identificación de flujos individuales, identificación de flujos de backbone, la arquitectura del laboratorio remoto, diseño de la arquitectura de la red del campus, direccionamiento IP y mecanismos para la gestión de red.

Validación de la propuesta: contiene el desarrollo de un prototipo de redes definidas en software y la validación a través de un software de simulación Mininet.

Resultados Obtenidos: contiene la descripción de los resultados obtenidos del trabajo de investigación.

Conclusiones y futuros trabajos: contiene las conclusiones relevantes del trabajo de investigación y futuros trabajos.

2. MARCO TEÓRICO

Los laboratorios remotos, se inician en la década de los 90's, en Universidades de Europa, denominados inicialmente campus virtuales (Universidad de León, Universidad de Oviedo, Universidad de Valladolid, entre otras), su desarrollo inicial estuvo confinado principalmente en el área de ingeniería de control, pero con el tiempo, se ha ido extendiendo a otros países y a otras áreas del conocimiento como son: la robótica, las aplicaciones nucleares, ingeniería sísmica e ingeniería estructural.

En el área de redes, la universidad de Girona [4], ha diseñado un laboratorio remoto de redes, para la enseñanza de conceptos básicos de redes y algunos problemas derivados de la integración de IPV4 e IPV6. Los usuarios acceden al laboratorio a través de una interfaz web y pueden realizar y estudiar varias configuraciones.

La red del laboratorio remoto ha definido cuatro topologías cada una de ellas con varias subredes. Se encuentra formada por 4 PC's con el sistema operativo Linux kernel 2.2.12-20, distribución Linux RedHat 6.1, 3 y un conmutador Ethernet (Cisco Catalyst 2920XL de 24 puertos). Cada PC dispone de una o más tarjetas Ethernet. El conmutador Ethernet es utilizado para crear subredes, para cada una de las topologías definidas en el laboratorio, de esta manera se crean subredes virtuales, evitando que la comunicación entre las subredes sea posible.

En Colombia, la Universidad Nacional, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad del Valle y Universidad Autónoma de Occidente han desarrollado laboratorios remotos en las áreas de: ingeniería de Control, física, robótica circuitos eléctricos, ingeniería sísmica e ingeniería estructural.

La Universidad del Valle y la Universidad del Quindío, desarrollaron un proyecto titulado "Framework para el desarrollo de laboratorios de acceso remoto sobre redes de alta velocidad (RENATA) en el área de la robótica", cuyo objetivo es diseñar e implementar un esquema de trabajo para la creación de interfaces de experimentación que faciliten la formación e inclusión de nuevos laboratorios remotos de robótica a la red de alta velocidad RENATA. A través de este proyecto y gracias a la infraestructura proporcionada por la red RENATA se posibilita el intercambio de propuestas de cooperación académica con grupos de investigación a nivel nacional e internacional. [5]

En el ámbito internacional en Estados Unidos, se está trabajando arduamente en el desarrollo de redes programables, muestra de ello es el proyecto GENI [5], (*The Global Environment for Network Innovations*, el medio ambiente mundial para innovaciones de redes) el cual se basa en una propuesta de investigación a nivel nacional para experimentar con nuevas arquitecturas de red y sistemas

distribuidos. GENI es laboratorio virtual para explorar redes futuras a gran escala, crea oportunidades importantes para comprender, innovar y transformar las redes mundiales. También un ambiente de colaboración y de exploración para la academia, la industria y el público para catalizar nuevos descubrimientos.

La universidad de Indiana y la Universidad de Stanford han diseñado una plataforma de red, para apoyar la investigación científica, esta sería la primera gran red disponible para el uso de la investigación sobre ambientes de producción en las redes de campus de universidades.

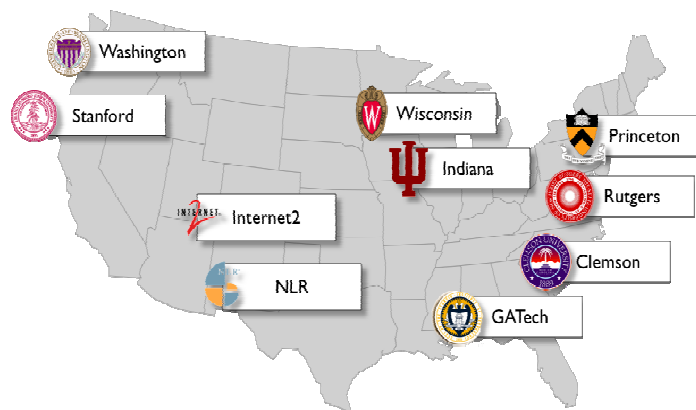


Figura 2. Redes definidas en software en redes de campus

Fuente: <http://www.openflow.org>

En Japón, tres universidades están interconectadas por JGN2Plus [6], este proyecto empezó a partir abril del 2008 y consiste en un banco de pruebas abierto a la investigación y el desarrollo de las redes de nueva generación y es el núcleo del centro de investigación (NTIC otemachi, National Institute of Information and Communications Technology). JGN2Plus, soporta actividades de creación de redes, pruebas de campo y diversas aplicaciones.

Las nuevas tecnologías han cambiado la naturaleza compleja de las redes, las Redes Definidas en Software (SDN), plantean la posibilidad de hacer uso del protocolo de enrutamiento OpenFlow, Esto significa que significa que los usuarios podrán definir los flujos y determinar que ruta seguirán estos en la red, con total independencia del hardware. Actualmente las configuraciones de red se hacen principalmente sobre el firmware que viene en los routers ó switches. Con la aparición de OpenFlow, tanto la configuración como la programación se realiza fuera del hardware (básicamente en software de servidor) para crear redes definidas en software y no por el hardware subyacente.

OpenFlow ha surgido de la necesidad de abordar estas deficiencias críticas en las redes de hoy, con el fin de ayudar a aportar a la investigación. Este protocolo es de gran utilidad en la redes de campus donde es necesario aislar el tráfico de la

red de acuerdo a la naturaleza de los usuarios (estudiantes, docentes, investigadores y personal administrativo).

OpenFlow [7], es un proyecto de código abierto, que permite a los investigadores ejecutar protocolos experimentales en las redes de campus. OpenFlow se agrega a un switch Ethernet comercial, a un enrutador y puntos de acceso inalámbrico, suministrando un protocolo estándar para permitir que los investigadores puedan llevar a cabo sus experimentos sin necesidad de que los vendedores expongan el funcionamiento interno de los equipos. Fue diseñado por investigadores de la Universidad de Stanford y la Universidad de Berkeley en California. Estas dos universidades empezaron a trabajar redes definidas en software en el año 2002. Hoy en día, el protocolo OpenFlow ha salido de la academia y está impulsado por la Open Networking Foundation, una organización sin fines de lucro cuyos miembros incluyen a muchos proveedores de redes y proveedores de tecnología de chips, y tiene un consejo que reúne a los mayores operadores de red en el mundo como: Cisco, Google, Microsoft, Yahoo, Facebook, Deutsche Telekom y Verizon.

En la infraestructura de redes existente, las tareas complejas que conforman el total de la funcionalidad de la red, tales como enrutamiento o las decisiones de acceso a la red, se delegan en la red a dispositivos de diversos proveedores, cada uno con firmware de configuración diferente. OpenFlow separa estas dos funciones, la ruta de datos aun reside en el equipo, mientras que las decisiones que son de alto nivel como el enrutamiento se traslada a un controlador independiente, por lo general en un servidor estándar. El Switch OpenFlow se comunica con el controlador OpenFlow.

OpenFlow separa las funciones de control y de datos, adoptando un controlador único de forma centralizada. Eliminando de plano la funcionalidad de la red de los dispositivos. Permitiendo al controlador añadir y eliminar entradas de reenvío en los switch OpenFlow. Cuando un switch OpenFlow recibe un paquete OpenFlow nuevo este no tiene entradas en la tabla de flujo, le envía el paquete al controlador, este puede tomar decisiones sobre cómo manejar los paquetes, se puede agregar un paquete a la tabla de entrada de flujos o dirigir el cambio sobre como enviar un paquete en el futuro.

Entre las ventajas que se pueden encontrar es que un administrador de red podría segmentar el tráfico de la red para tener entornos de producción y experimentación, sin ningún problema. En este entorno los investigadores podrán programar los flujos de datos, mediante la elección de rutas de paquetes y ser libres de decidir cómo estos se procesan, esto daría a los administradores de red un control más preciso sobre los flujos de datos.

La centralización de la complejidad le permite al administrador de red mantener estrecha vigilancia sobre el comportamiento de la red. En razón que se tiene un

control estricto y directo sobre la transmisión de flujos en los switches, se pueden gestionar los recursos de red y el tráfico de la producción por separado del tráfico experimental así como la forma de enrutar los paquetes, realizar balanceo de carga, y manejar el control de flujo de datos.

El controlador central puede ser programado para comportarse como un multiplexor que divide el tráfico perteneciente a diferentes usuarios de la red, así todos los controladores OpenFlow estarían bajo el control del administrador de la red. Esta forma de virtualización permite a los investigadores dirigir sus propios protocolos sobre la red física

Actualmente existen varios controladores desarrollados para OpenFlow en código abierto para varias versiones del sistema operativo LINUX. Los cuales se describen en la Tabla 1.

Nombre de Controlador	Descripción	Licenciamiento
NOX	<p>Se trata de una plataforma en C++, para crear aplicaciones de control de red. Fue desarrollado como un proyecto académico y el primer controlador OpenFlow para redes definidas en software.</p> <p>En el año 2008 fue donado a la comunidad científica y desde entonces ha sido la base de muchos proyectos de investigación.</p>	<p>Desarrollado por Nicira Redes.</p> <p>Esta dirigido a recientes versiones de LINUX (especialmente Ubuntu 10.11, Debian y Linux Red Hat Enterprise Versión 6).</p> <p>Licencia GPL</p>
Beacon	<p>Un controlador realizado en Java construida por David Erickson en la Universidad de Stanford.</p> <p>Multiplataforma - Beacon está escrito en Java y se ejecuta en muchas plataformas, de gama alta servidores multi-core de Linux y en los teléfonos Android.</p>	<p>El código abierto - Beacon está licenciado bajo una combinación de la licencia GPL v2, Licencia Publica General.</p> <p>Se basa en los marcos de Java, tales como Spring y Equinox.</p>
Maestro	<p>Proporciona interfaces modulares para la aplicación de las</p>	<p>Un controlador de Java construido por Zheng Cai en la Universidad Rice en el</p>

	<p>aplicaciones de control de red para acceder y modificar el estado de la red y coordinar sus interacciones. Aunque este proyecto se centra en la construcción de un controlador de OpenFlow con el maestro, el maestro no se limita únicamente a las redes OpenFlow.</p>	<p>año 2009.</p> <p>Desarrollado en Java (tanto en la plataforma y los componentes) - altamente portátil para varios sistemas operativos y arquitecturas.</p> <p>Licenciado bajo la versión de GNU General Public License 2.1</p>
--	--	---

Tabla 1. Controladores OpenFlow

Fuente: http://www.openflow.org/wk/index.php/Controller_Performance_Comparisons/

Un Switch OpenFlow: [8] consta de al menos tres componentes: (1) Una tabla de flujo, con una acción asociada, (2) Un Canal seguro que conecta el switch con un proceso de mando a distancia (denominado controlador), permitiendo que comandos y paquetes para ser enviados entre un controlador y (3) el switch usado Ver figura 3.

El Protocolo OpenFlow ofrece una infraestructura abierta y estándar para que un controlador pueda comunicarse con un switch. Estas entradas de la tabla de flujo pueden ser definidas externamente así:

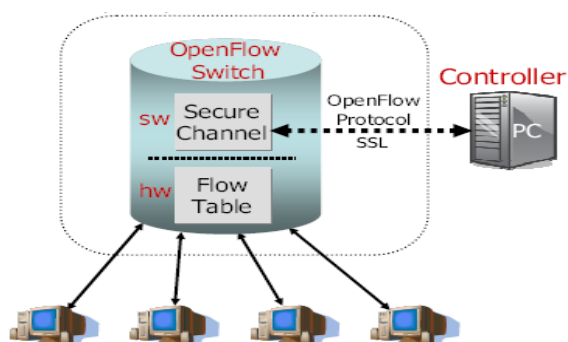


Figura 3. El switch OpenFlow, es controlado por un controlador remoto, a través de un canal seguro.

Fuente: OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks

- Una tabla de flujo, con una acción asociada a cada flujo, que dice al switch la forma como debe procesar el flujo.
- Un canal seguro que conecta el switch con un proceso de control remoto, llamado controlador, permitiendo que comandos y paquetes, puedan ser enviados a un controlador usando el switch.
- El protocolo OpenFlow, proporciona una manera abierta y estándares, para que un controlador pueda comunicarse con el switch.

El desarrollo de este protocolo, también permitirá la interconexión de las redes de universidades a través de túneles y redes superpuestas. También proporciona una interfaz de programación de aplicaciones común que permite a los administradores de los programas decidir que sucede en la red.

La versión básica de un switch OpenFlow Tipo-0, clasifica los paquetes en los flujos sobre la base de una tupla de 10, que se puede coincidir exactamente con el uso de comodines en los campos. Ver figura 4.

Los siguientes campos constituyen la tupla:

- Puerto de entrada del Switch
- Dirección MAC fuente
- Dirección Mac destino
- Tipo Ethernet
- VLAN ID
- Dirección IP fuente
- Dirección IP destino
- Protocolo IP
- Puerto Fuente TCP/UDP
- Puerto destino TCP/UDP

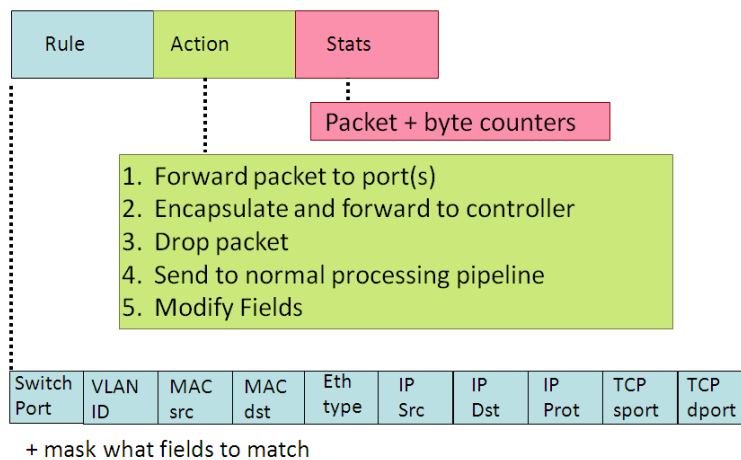


Figura 4. Entrada de una tabla de flujos

Fuente: <http://www.openflow.org/wp/documents/openflow.ppt>

En este contexto, los flujos se definen ampliamente, y sólo están limitadas por las capacidades de la aplicación particular de la tabla de flujo. Por ejemplo, un flujo podría ser una conexión TCP con-conexión a todos los paquetes de una determinada dirección MAC o dirección IP, o todos los paquetes con la misma etiqueta de VLAN, un flujo puede ser definida como todos los paquetes que coincidan con una cabecera específica (pero no estándar) Cada flujo de entrada tiene una acción simple, con ella, los tres básicos (que todos los interruptores dedicados OpenFlow debe ser compatible) son los siguientes:

- Re-envió de flujo de paquetes a un determinado puerto ó puertos.
- Encapsular y reenviar los paquetes de este flujo a una controladora. El paquete se entrega al canal seguro, donde se encapsula y se envía a un controlador. Normalmente se utiliza para el primer paquete en un flujo de nuevo, por lo que un controlador puede decidir si el flujo debe ser añadido a la tabla de flujo. O en algunos experimentos, se podría utilizar para transmitir todos los paquetes a un controlador para su procesamiento.
- Puede ser utilizado para la seguridad, para frenar ataques de denegación de servicio, o para reducir el tráfico de falsos descubrimiento de difusión desde anfitriones finales.
- Una entrada en la tabla de flujo tiene tres campos: (1) Un encabezado de un paquete que define el flujo, (2) La acción de la que define cómo los paquetes deben ser procesados, y Estadística (3), que no perder de vista el

número de paquetes y bytes para cada flujo, y el tiempo desde el último el flujo de paquete (para ayudar a la eliminación de los flujos inactivos).

Mediante la virtualización de gestión de red [9], OpenFlow permite a las redes Implementar y evaluar las nuevas características, usando la arquitectura de red existente mediante la adición de software OpenFlow. Este protocolo está disponible en varias distribuciones de Linux incluyendo CentOS, Fedora y Ubuntu. De este modo, se podría utilizar una máquina Linux como un switch OpenFlow o servidor de control.

En el sitio oficial del protocolo OpenFlow se encuentran herramientas de código abierto, disponibles para personas interesadas en realizar pruebas con este protocolo.

Software	Descripción	Disponible
OpenFlow Wireshark	Analizador de tráfico	http://www.openflow.org/wk/index.php/OpenFlowWiresharkDissector#DownloadtheSource
MiniNet	Máquina virtual para crear prototipos para redes definidas en software Se puede crear cualquier tipo de topología. MiniNet apoya la investigación, desarrollo, aprendizaje, desarrollo de prototipos, pruebas, depuración, y cualesquiera otras tareas que podrían beneficiarse de tener una red experimental completa en un ordenador portátil o cualquier otro PC.	http://www.openflow.org/foswiki/bin/view/OpenFlow/Mininet
OFTrace	Imprime los tiempos de procesamiento del, es decir, la diferencia de tiempo entre cuando un controlador recibe un mensaje.	http://www.openflowswitch.org/oftrace.git

Tabla 2. Herramientas de código abierto para OpenFlow

Fuente: http://www.openflow.org/wk/index.php/Main_Page

3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

3.1 Alcance y funcionalidades²

Para el funcionamiento del laboratorio es importante partir del diseño de la arquitectura del software, que permita a estudiantes e investigadores ejecutar sus experimentos de manera remota sobre ambientes físicos reales. Los docentes podrán programar prácticas en línea e interactuar con los estudiantes. En este capítulo se define únicamente la arquitectura de la funcionalidad del software hasta los casos de uso fachada, no se contempla el análisis de casos de uso completos.

Id	Solicitudes del Usuario	Descripción	Requerimientos Funcionales.	Requerimientos Arquitecturales e Significativos
S1	Disponer de un laboratorio de acceso remoto las 24 horas del día.	Ampliar la oferta horaria de espacio físico del laboratorio sin límites espaciales ni temporales	X	
S2	La red de estudiante e investigadores debe estar separada en segmentos de red diferentes a través de VLAN.	Dentro del diseño la red que preste servicio a los estudiantes debe ser un segmento de red diferente al de los investigadores		X
S3	El Sistema debe contemplar un Módulo de reservas para estudiantes	Se debe permitir al estudiante y hacer uso de reservas, del laboratorio para prácticas independientes del estudiante.	X	

² La fuente de todas plantillas utilizadas en este capítulo están disponibles en <http://sistemas.uniandes.edu.co/~sis3702/docuwiki/doku.php?id=sad>.

S4	El sistema debe contemplar un modulo para la asignación de cuentas de usuario y definición de perfiles	Los permisos de usuarios se deben poder asignar de acuerdo a los roles (administrador, docente, estudiante, investigador).	X	
S5	Acceso vía web	Los estudiantes e investigadores podrán validar los experimentos desde cualquier lugar con acceso a internet.	X	
S6	Las conexiones remotas se deben hacer usando protocolos de comunicación seguros y la información debe viajar cifrada	Las conexiones de acceso remoto deben manejarse a través de un canal seguro y deben viajar a través de la red de forma cifrada		X
S7	Sistema de videoconferencia.	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesario contar con una plataforma de video conferencia para que el docente pueda interactuar con los estudiantes en los encuentros virtuales - También los investigadores podrán hacer uso de este servicio para interactuar con investigadores de otras redes académicas 	X X	
S8	Sistema de mensajería instantánea	Es necesario contar con una herramienta de mensajería instantánea, para que el estudiante pueda interactuar con el docente.	X	
S9	Proyección de clases	El docente requiere publicar las guías de	X	

		laboratorio y proyectar las presentaciones de la clase en línea (diapositivas en formato ppt y pdf)		
S10	Publicación de contenidos	El investigador por su parte requiere publicar artículos de producción académica resultado de sus investigaciones.	X	
S11	Administrador de contenidos	El administrador de contenidos debe tener privilegios de administrador.	X	
S12	Manejo de concurrencia	Que el sistema ofrezca la posibilidad de que varios alumnos trabajen de forma simultánea.	X	
S13	Un sistema de monitorio y supervisión	Se debe permitir al docente supervisar y monitorear en línea y de forma a remota el trabajo del estudiante permitir observar variables tales como: experimentos realizados, hora y tiempos de conexión.	X	
S14	Visualización remota de experimentos	Creación de un entorno de trabajo que permita la visualización en tiempo real de los experimentos por parte de los estudiantes y investigadores	X	
S15	El sistema debe manejar un modulo para la generación de	Reportes de estadísticas de uso de laboratorio.	X	

	estadísticas de uso del laboratorio.			
S16	Sistema de validación de usuarios	El acceso a los recursos de laboratorio es solo para estudiantes que tengan cursos matriculados en el énfasis de redes y comunicaciones, docentes e investigadores	X	
S17	Administración de cuentas de usuarios invitados	Se debe permitir el registro de cuentas de investigadores registrados en grupos de investigaciones de otras redes académicas.	X	
S18	Sistema de auto evaluación para el estudiante	Módulo de auto evaluación del alumno que permita a estudiante auto dirigir su proceso de aprendizaje, indicándole los puntos sobre los que necesita un mayor refuerzo en su estudio.	X	
S19	Sistema de Grabado de Experimentos	El sistema debe permitir a los estudiantes grabar el video de los laboratorios. Estos archivos se almacenaran como material de consulta de otros estudiantes.	X	
S20	Banco de objetos de aprendizaje	El sistema debe contener un banco de objetos de aprendizaje en temas relativos a los	X	

		cursos de redes.		
S21	Temporizador de sesiones de usuario	El sistema debe contener un temporizador de sesiones de usuario máximo de 2 horas	X	

Tabla 3. Listado de requerimientos de los usuarios

3.2 Stakeholders

El desarrollo de software tradicional, ha estado motivado por la búsqueda de la satisfacción de las necesidades de los usuarios. Sin embargo las personas que interactúan con un sistema de software no están limitadas únicamente a aquellas personas que lo utilizan. Un sistema tiene que ser construido, probado, mejorado y hasta reparado. Cada una de estas actividades implica un número significativo de personas, además de los usuarios del software, cada una de estas personas tiene sus propias expectativas, necesidades e intereses que debe cumplir el sistema.

Se hará referencia a estas personas como los stakeholders (partes interesadas). Un stakeholders se puede definir como una persona, grupo ó entidad con un interés en conocer a cerca de la realización de la arquitectura del software. La comprensión del papel de los stakeholders es fundamental, para comprender la arquitectura del sistema [10].

En la Tabla 4 se detalla la descripción de los stakeholders.

Stakeholders	Descripción
Dirección Académica de programa	Director Académico de un programa de la universidad.
Decano	Decanatura de Facultades
Director de programa	Director de programa de la universidad
Jefe de Desarrollo	Coordinador del área de desarrollo
Coordinador de proyectos web	Coordinador de área de desarrollos web
Coordinadora de Ambientes Virtuales de Aprendizaje	Coordinadora de desarrollo de plataformas e-learning.
Administrador de infraestructura	Administrador de la red
Administrador de base de datos	DBA de las bases de datos corporativas
Desarrolladores web	Analistas y desarrolladores de software
Soporte	Personal encargado de dar soporte de la aplicación
Docentes	Docentes vinculados a la universidad que dictan los cursos de pregrado.
Estudiantes	Estudiantes matriculados en cursos

	virtuales, presenciales.
Investigadores	Docentes investigadores de la universidad y /o profesores investigadores visitantes de otras redes académicas o grupos de investigación.

Tabla 4. Descripción de los Stakeholders.

3.3 Expectativas de los Stakeholders.

En la Tabla 5. Se detallan las expectativas de las partes interesadas.

Stakeholders	Expectativas
Dirección Académica de programa	Optimizar el uso de recursos físicos de laboratorios especializados.
Decano	Incorporar nuevas prácticas pedagógicas en los procesos de enseñanza aprendizaje.
Director de programa	Crear nuevos ambientes de aprendizaje para los estudiantes y ampliar la cobertura de cursos sin límites espaciales ni temporales.
Coordinador de Desarrollo	Entregar un producto que se ajuste a los requerimientos y expectativas de los stakeholders.
Coordinador de proyectos web	Minimizar los cambios sobre el sistema, haciendo una adecuada interpretación de los requerimientos del sistema.
Coordinadora de Ambientes Virtuales de Aprendizaje	Fomentar el uso y apropiación del uso de TIC en la formación de Redes.
Administrador de infraestructura	Garantizar la operación de la red y los servicios que esta presta con niveles de calidad de servicio, evitando que los servicios nuevos impacten negativamente los servicios prestados.
Administrador de base de datos	Minimizar el impacto de los nuevos servicios sobre el rendimiento de las bases de datos y servidores.
Desarrolladores web	Interpretar adecuadamente los requerimientos de las partes interesadas, para minimizar los cambios del sistema.
Soporte	Minimizar el reporte de incidentes por fallos en el sistema ó problemas de capacitación de los usuarios finales.

Docentes	Contar con un sistemas de evaluación y monitoreo de los estudiantes que permita al docente comprobar que el proceso de aprendizaje que lleva asociado el estudiante es el correcto y si ha logrado los objetivos perseguidos tras el estudio completo de la asignatura.
Estudiantes	Disponer de laboratorios especializados son límites de espacio y tiempo, para la confrontación de conceptos teóricos.
Investigadores	Disponer de un laboratorio de comunicaciones para prácticas experimentales y desarrollo de nuevo conocimiento e interacción con otras redes académicas.

Tabla 5 Expectativas de los Stakeholders

3.4 Demografía de los stakeholders

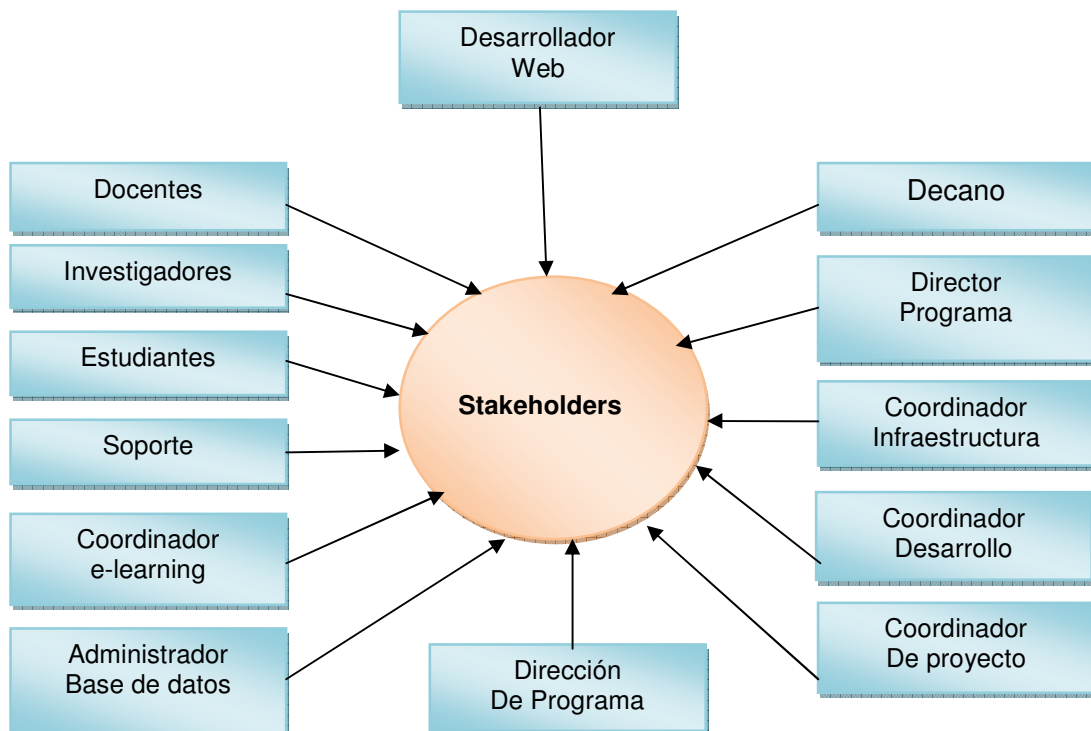


Figura 5. Demografía de los stakeholders

3.5 Motivadores Arquitecturales

Motivadores del Negocio

Nombre del Motivador del Negocio MV01.	Descripción del Motivador del Negocio
Optimizar el espacio físico en laboratorios especializados	Ampliar la oferta horaria de laboratorios especializados.
Medida del Impacto	
<p>Número de estudiantes que hacen uso del laboratorio</p> <p>Escala</p> <p>Muy bajo: 70%</p> <p>Bajo: 75%</p> <p>Medio: 80%</p> <p>Alto: 90%</p> <p>Muy Alto: 95%</p> <p>Completo: 100%</p>	

Tabla 6. Motivadores del negocio MV01.

Nombre del Motivador del Negocio MV02	Descripción del Motivador del Negocio
Escenarios de experimentación para investigadores.	Crear escenarios de investigación para docentes investigadores y desarrollar proyectos de investigación con otras redes académicas.
Medida del Impacto	
<p>Número de investigadores que hacen uso del laboratorio</p> <p>Escala</p> <p>Muy bajo: 70%</p> <p>Bajo: 75%</p> <p>Medio: 80%</p> <p>Alto: 90%</p> <p>Muy Alto: 95%</p> <p>Completo: 100%</p>	

Tabla 7. Motivador del Negocio MV02

Nombre del Motivador del Negocio MV03	Descripción del Motivador del Negocio.
Sistema de educación incluyente	Propiciar en el ámbito universitario un sistema de educación incluyente dentro del cual se favorezca la autoformación y el autodesarrollo en un marco flexible.
Medida del Impacto	
Número de docentes que hacen uso del laboratorio en su práctica pedagógica.	
Muy bajo: 70%. Bajo: 75% Medio: 80% Alto: 90% Muy Alto: 95% Completo: 100%	

Tabla 8 Motivador del negocio MV03

3.6 Restricciones del Negocio

Id Restricción	Tipo	Nombre
RNEG-01	Tecnológica () Negocio (x)	Uso del laboratorio Remoto
Descripción:	<p>El laboratorio será utilizado por el grupo de profesores que dicten asignaturas de redes e investigadores de planta y investigadores visitantes que hagan parte de grupos de investigación o redes académicas.</p> <p>También podrán acceder a este servicio estudiantes que se encuentren matriculados en cursos de redes ó que estén desarrollando proyecto de grado en la línea de Redes.</p>	
Establecida por:	Dirección Académica	
Alternativas:	N/A	
Observaciones:	Los usuarios del laboratorio requieren una capacitación sobre el uso del laboratorio y sus servicios.	

Tabla 9. Restricciones del negocio RNEG-01

Id Restricción	Tipo	Nombre
RNEG-02	Tecnológica () Negocio (x)	Desarrollo de prácticas para trabajo independiente
Descripción:	El desarrollo de prácticas de trabajo independiente se debe realizar con reservas	
Establecida por:	Coordinador de plataformas e-learning	
Alternativas	N/A	
Soluciones:	El tiempo de trabajo del estudiante se debe controlar con un temporizador de sesiones máximo dos horas por estudiante.	

Tabla 10. Restricciones del negocio RNEG-02

3.7 Restricciones de Tecnología

Id Restricción	Tipo	Nombre
RTEC- 01	Tecnológica (x) Negocio ()	Sistema de autenticación
Descripción:	La autenticación de usuarios del sistema se debe hacer de forma centralizada.	
Establecida por:	Coordinador de desarrollo	
Observaciones:	OPEN LDAP (Lightweight Directory Access Protocol, (Protocolo Ligero de Acceso a Directorios) con OpenSSHD.	

Tabla 11. Restricciones de tecnología RTEC-01

Id Restricción	Tipo	Nombre
RTEC-03	Tecnológica (X) Negocio ()	Conexión Segura
Descripción:	La conexión de acceso remoto debe ser segura y a la vez debe manejar cifrado de datos.	
Establecida por:	Coordinador de infraestructura.	
Alternativas	El transporte de información se debe realizar sobre el protocolo HTTPS.	
Observaciones:	Uso de Protocolo para el cifrado de documentos (AS2) y conexión segura (SSL).	

Tabla 12. Restricción Tecnológica RTEC-03

Id Restricción	Tipo	Nombre
RTEC-04	Tecnológica (X) Negocio ()	Disponibilidad de sitio web
Descripción:	El sitio web debe estar disponible 7 x 24	
Establecida por:	Coordinador de Desarrollo Web	
Alternativas	Disponer de enlaces redundantes, preferiblemente con operadores de comunicaciones diferentes.	
Observaciones:	Se debe contar con alta disponibilidad en bases de datos y conexión a internet.	

Tabla 13. Restricción Tecnológica RTEC-04

3.8 Presunciones

- El uso de materiales didácticos herramientas de colaboración (foros), herramientas de comunicación (correo, chat, videoconferencia), publicación de contenidos, autoevaluación, se realizará con la plataforma virtual Moodle. Mediante esta plataforma de enseñanza los estudiantes pueden tener acceso a contenido teórico y guías de laboratorio.
- Para la publicación de portal web del laboratorio, se utilizara como administrador de contenidos Joomla.
- El estudiante puede acceder a los objetos virtuales de aprendizaje publicados en el portal del laboratorio.
- Los roles y cuentas de usuario se manejan centralizadas y es responsabilidad del coordinador de plataformas e-learning al igual que la publicación de contenidos.

3.9 Atributos de Calidad

Listado de Escenarios de Calidad

Disponibilidad

EDIS-01. Desconexión de la base de datos durante un experimento

EDIS-02. Caída de sistema de monitoreo (cámaras)

EDIS-03. Caída del servidor de publicación de contenidos

Confiabilidad

ECON-01 Desconexión del sistema antes de terminar un experimento

Seguridad

ESEG-O1 Acceso no autorizado laboratorio remoto

Desempeño

EDES-01 Tiempo de respuesta de la interface de experimentación

EDES-02 Desempeño de la aplicación durante los backup's.

Escenario de Calidad No001:	EDIS01	Stakeholders:	Administrador de Base de Datos
Atributo de Calidad	Disponibilidad		
Justificación	Desconexión de la base de datos durante la ejecución de un experimento.		
Fuente	Interno al sistema (Monitor del base de datos)		
Estímulo	El nodo no está disponible en el momento de la consulta.		
Artefacto	Nodo del servidor de bases de datos		
Ambiente	Operación Normal		
Respuesta	El sistema detecta la caída del servidor y devuelve un mensaje de error al usuario y solicita la autorización para guardar la información en un disco virtual.		
Medida de la respuesta	Tiempo de caída del servidor de base de datos en un mes (minutos)/minutos del mes.		

Tabla 14 Escenario de disponibilidad 01

Escenario de Calidad No002:	EDIS02	Stakeholders:	Administrador de Base de datos
Atributo de Calidad	Disponibilidad		
Justificación	Caída del Sistema de Monitoreo de Cámaras		
Fuente	Interno al sistema (Monitor del servicio)		
Estímulo	El nodo no está disponible en el momento de la consulta.		
Artefacto	Nodo del servidor Cámaras de video		
Ambiente	Operación Normal		
Respuesta	El sistema detecta la caída del servidor y re -direcciona el servicio a otro nodo.		
Medida de la respuesta	Tiempo de caída de un nodo web en un mes (minutos)/minutos del mes		

Tabla 15. Escenario de disponibilidad 02

Escenario de Calidad No003:	EDIS03	Stakeholders:	Coordinador de e-learning
Atributo de Calidad	Disponibilidad		
Justificación	Caída del servicio de contenidos (moodle)		
Fuente	Interno al sistema (Monitor del servicio)		
Estímulo	La plataforma virtual no está disponible.		
Artefacto	Nodo del servidor de contenidos		
Ambiente	Operación Normal		
Respuesta	El sistema detecta la caída del servidor y re -direcciona el servicio a otro nodo		
Medida de la respuesta	Tiempo de caída de un nodo web en un mes (minutos)/minutos del mes Nodo.		

Tabla 16. Escenario de disponibilidad 03

Escenario de Calidad No:004	ECON01	Stakeholders:	Coordinador de plataformas e-learning
Atributo de Calidad	Confiabilidad		
Justificación	El sistema se cierra antes de terminar un experimento		
Fuente	Interno al sistemas		
Estímulo	Servicio no disponible		
Artefacto	Modulo de experimentación		
Ambiente	Sobrecarga de la red		
Respuesta	El sistema genera un alarma y notifica al administrador del servicio		
Medida de la respuesta	Cantidad de experimentos fallidos		

Tabla 17. Escenario de confiabilidad 01

Escenario de Calidad No: 005	ESEG01	Stakeholders:	Coordinador de Infraestructura
Atributo de Calidad	seguridad		
Justificación	Acceso no autorizado al sistema		
Fuente	Externo		
Estímulo	Violación a las políticas de seguridad		
Artefacto	Firewall de seguridad		
Ambiente	Operación Normal		
Respuesta	El firewall detecta un usuario no autorizado y bloquea la cuenta		
Medida de la respuesta	Número de conexiones bloqueadas por el firewall		

Tabla 18. Escenario de seguridad 01

Escenario de Calidad No:006	EDES01	Stakeholders:	Coordinador de Infraestructura
Atributo de Calidad	Desempeño		
Justificación	Tiempo de respuesta de la interfaz de experimentación debe ser máximo de 10 segundos con una carga de usuarios de 100 ó menos usuarios concurrentes.		
Fuente	Interno al sistema		
Estímulo	Ejecución de un experimento		
Artefacto	Servidor de experimentación		
Ambiente	Operación Normal		
Respuesta	El sistema debe dar respuesta a la solicitud de los datos en un tiempo máximo de (10) segundos		
Medida de la respuesta	95% de los casos de concurrencia en condiciones de alta demanda		

Tabla 19. Escenario de desempeño 01

Escenario de Calidad No:007	EDES02	Stakeholders:	Coordinador de Infraestructura
Atributo de Calidad	Desempeño		
Justificación	Desempeño del laboratorio durante la ejecución de copias de respaldo		
Fuente	Interno al sistema		
Estímulo	Inicio del sistema de respaldo (backup) diario		
Artefacto	Servidor de base de datos		
Ambiente	Operación Normal		
Respuesta	El sistema registra el inicio y realiza el proceso de backup atendiendo simultáneamente las solicitudes de los usuarios		
Medida de la respuesta	Cantidad de solicitudes que tienen tiempos de respuesta superiores a un minuto durante La realización de backup / Cantidad de solicitudes durante procesos de backup.		

Tabla 20. Escenario de desempeño 02

3.10 Estilos y Tácticas Arquitecturales

Para el sistema propuesto se propone una aplicación de una arquitectura web, implementando un modelo basado en capas y la utilización de web services para la integración con sistemas externos (moodle).

Nombre	Operación de discos virtuales (Disponibilidad)
Descripción	Cuando se presentan problema de conexión con la base de datos, el sistema debe almacenar la información en un disco virtual permitiendo que ante una caída del servidor de base de datos, la transacción se guarde en una máquina virtual de respaldo.
Trade-off	La creación de un disco virtual impacta el desempeño del aplicativo, por las operaciones adicionales a realizar y la sincronización de las bases de datos una vez se restablezca la operación normal.

Nombre	Virtualización de servidores (Disponibilidad)
Descripción	Cuando se presentan problema de conexión con los servidores, el sistema debe direccionar la información a máquinas virtuales
Trade-off	La creación de recursos compartidos para optimizar la infraestructura, puede requerir mayor capacidad de servidores y mayor carga sobre la red.

Nombre	Recuperación de información (Confiability)
Descripción	Durante la ejecución de experimentos el sistema debe almacenar puntos de control, permitiendo recuperar la información en el evento que el servicio sea interrumpido, la recuperación de la información se inicia desde el último punto de control registrado.
Trade-off	La creación de puntos de control impacta el desempeño de los procesos por las operaciones adicionales que se tiene que realizar.

Nombre	Bloqueo temporal de las cuentas (seguridad)
Descripción	La cuenta que registre más de 3 intentos fallidos se bloqueará, hasta que el usuario ejecute la opción de restablecer contraseña.
Trade-off	La disponibilidad del servicio puede verse afectada pues el sistema bloqueará la cuenta del usuario.

Nombre	Procesamiento de información (desempeño)
Descripción	Los procesos que requieran de mayores recursos, deben ser programados como tareas y almacenarlos localmente, mejorando la capacidad de carga de los diferentes componentes.
Trade-off	Mejorar los tiempos de respuesta del sistema, requiere de una mayor capacidad de memoria y procesamiento de servidores y capacidad de canales de internet.

Nombre	Programación de backup en horarios no hábiles (desempeño)
Descripción	Las copias de respaldo de los datos del sistema, se deben programar en horarios no hábiles.
Trade-off	El manejo de copias de respaldo en horarios no hábiles genera una ventana de tiempo muy amplia entre la realización de las copias, esto puede afectar la correcta recuperación de errores del sistema, pues solo se podría restaurar la información desde la última copia. También se afecta el rendimiento de las aplicaciones.

3.11 Listados de Casos de Uso por autor

Identificación de los actores

Docente:

CU01: Realizar Monitoreo y seguimiento de Estudiantes

Estudiante

CU02: Gestionar Reservas de laboratorio remoto

CU03: Ejecutar laboratorios

CU04: Consultar laboratorios

CU05: Consultar Objetos Virtuales de Aprendizaje

Investigador

CU06: Ejecutar experimentos

Identificador:	CU01	
Nombre:	Realizar Monitoreo y Seguimiento de estudiantes	
Descripción	Cuando el estudiante está ejecutando los laboratorios, el profesor puede observar en línea el procedimiento que sigue el estudiante.	
Fase	Fachada	
Actores	Principal: Docente	
Guion:	Actor	Sistema
	1. El usuario ingresa el nombre y contraseña	2. El sistema hace la validación del usuario en la base de datos. Muestra la interface de acuerdo al perfil que maneja el usuario.
	3.El docente puede hacer seguimiento de los laboratorios que está siguiendo el estudiante en tiempo real.	4. Durante este proceso el sistema provee herramientas de comunicación bidireccional asincrónica (Chat) y videoconferencia. Para que el docente y estudiante puedan intercambiar información.
	5.El usuario termina de hacer el laboratorio y finaliza el proceso 6.El estudiante puede grabar el laboratorio 7.El usuario cierra la sesión	8.El sistema detiene el temporizador 9. El sistema regresa a la página principal.

Tabla 21 Caso de Uso CU01, Monitorio y seguimiento de estudiantes

Identificador:	CU02	
Nombre:	Gestionar reserva del laboratorio remoto	
Descripción	El estudiante y el administrador de las plataformas e-learnig, pueden gestionar las reservas para el uso del laboratorio remoto, para clases dirigidas por un docente ó para prácticas de trabajo independiente.	
Fase	Fachada	
Actores	Principal: Coordinador de plataforma e-learning, Estudiante	
Guion	Actor	Sistema
	1. El usuario ingresa al sistema y valida el usuario y contraseña	2. El sistema valida que el usuario exista en la base de datos
	3. El usuario escoge la opción de gestionar reserva de laboratorio. 5. El usuario puede navegar sobre el cronograma de reservas y separa el espacio físico.	4.El sistema despliega un formulario de reservas 6. El sistema realiza una validación de cruce de horarios.

	7. El usuario graba la reserva en el sistema.	8. El sistema muestra al usuario que la reserva fue exitosa.
--	---	--

Tabla 22 Caso de uso CU02- Gestionar reserva de laboratorio

Identificador:	CU03	
Nombre:	Ejecutar práctica de laboratorio	
Descripción	Cuando el estudiante va a ejecutar un laboratorio puede ingresar al modulo de experimentación y ejecutar la práctica, siempre y cuando tenga asignado una reserva para hacerlo.	
Fase	Fachada:	
Actores	Principal: Estudiante Secundario Docente	
Guion	Actor	Sistema
	1.El estudiante ingresa al portal del laboratorio e ingresa el usuario y contraseña	2. El sistema valida que el usuario exista en el sistema. 3. El sistema carga la interface que puede ejecutar el estudiante.
	4. El usuario ingresa al modulo de experimentación. 6. El usuario da clic en la opción iniciar el laboratorio	5. EL sistema valida la reserva del usuario. 7. El sistema inicia el temporizador 8 Activa el servicio de cámaras para que el usuario pueda ver el desarrollo del laboratorio en tiempo real
	9. El usuario sigue los pasos del experimento 10.El usuario termina el laboratorio 11 El usuario graba el laboratorio	12 El sistema vuelva a la página de inicio de sesión.

Tabla 23 Caso de Uso CU03 Ejecutar práctica del laboratorio.

Identificador:	CU04	
Nombre:	Consultar experimentos	
Descripción	El estudiante puede consultar laboratorios grabados para conocer todos los pasos que se realizaron durante el desarrollo del mismo	
Fase	Fachada:	
Actores	Principal: Estudiante Secundario Docente	
Guion	Actor	Sistema
	1.El estudiante ingresa al portal del laboratorio e ingresa el usuario y contraseña	2. El sistema valida que el usuario exista en el sistema. 3. El sistema carga la interface que puede ejecutar el estudiante.
	4. El usuario ingresa modulo de consultar laboratorio 6. El estudiante selecciona el video	5. EL sistema presenta la lista de laboratorios. 6. El sistema ejecuta la grabación del video seleccionado
	7. El usuario finaliza la consulta	12 El sistema vuelva a la página de inicio.

Tabla 24 Caso de Uso CU04 Consulta de laboratorios

Identificador:	CU05	
Nombre:	Consultar Objetos Virtuales de Aprendizaje	
Descripción	El estudiante puede consultar los Objetos Virtuales de Aprendizaje, para reforzar los temas vistos en la guía del curso	
Fase	Fachada:	
Actores	Principal: Estudiante Secundario Docente	

Guion	Actor	Sistema
	1.El estudiante ingresa al portal del laboratorio e ingresa el usuario y contraseña	2. El sistema valida que el usuario exista en el sistema. 3. El sistema carga la interface que puede ejecutar el estudiante.
	4. El usuario ingresa modulo de consultar Objetos Virtuales de Aprendizaje 6. El usuario selecciona la unidad y da clic sobre el Objeto de aprendizaje	5. EL sistema presenta la lista de objetos virtuales de aprendizaje organizada por unidad de estudio. 7. El sistema Carga el objeto de aprendizaje
	8. El usuario realiza las actividades con el objeto 9. El usuario finaliza la práctica con el objeto virtual	10 El sistema vuelva a la página anterior.

Tabla 25. Caso de Uso CU05 Consulta de Objeto de Aprendizaje

Identificador:	CU06
Nombre:	Ejecutar Experimento
Descripción	Los investigadores pueden correr sus experimentos, esto se puede hacer en simultáneo con los estudiantes porque el segmento de red es diferente Los laboratorios que se realicen con acceso remoto requieren una reserva previa.
Fase	Fachada:
Actores	Principal: Investigador Secundario Investigador invitado

Guion	Actor	Sistema
	1.El usuario ingresa al portal del laboratorio e ingresa el usuario y contraseña	2. El sistema valida que el usuario exista en el sistema. 3. El sistema carga la interface que puede ejecutar el investigador de acuerdo a los privilegios que tenga
	4. El usuario ingresa al modulo de experimentación. 6. El usuario da clic en la opción iniciar el laboratorio	5. EL sistema valida la reserva del usuario e 7. El sistema inicia el temporizador 8 Activa el servicio de cámaras para que el usuario pueda ver el desarrollo del laboratorio en tiempo real
	9. El usuario sigue los pasos del experimento 10.El usuario termina el laboratorio 11 El usuario graba el laboratorio	12 El sistema vuelva a la página de inicio de sesión.

Tabla 26. Caso de Uso CU06 Ejecutar experimentos

4. MODELO PROPUESTO

4.1 ANALISIS DE LA RED

4.1.1 Geografía del evento

En la fase de diseño de la arquitectura de la red, resulta fundamental identificar la geografía del evento, esto implica describir geográficamente como estarán distribuidos los servicios y usuarios del laboratorio en la Red del campus universitario.

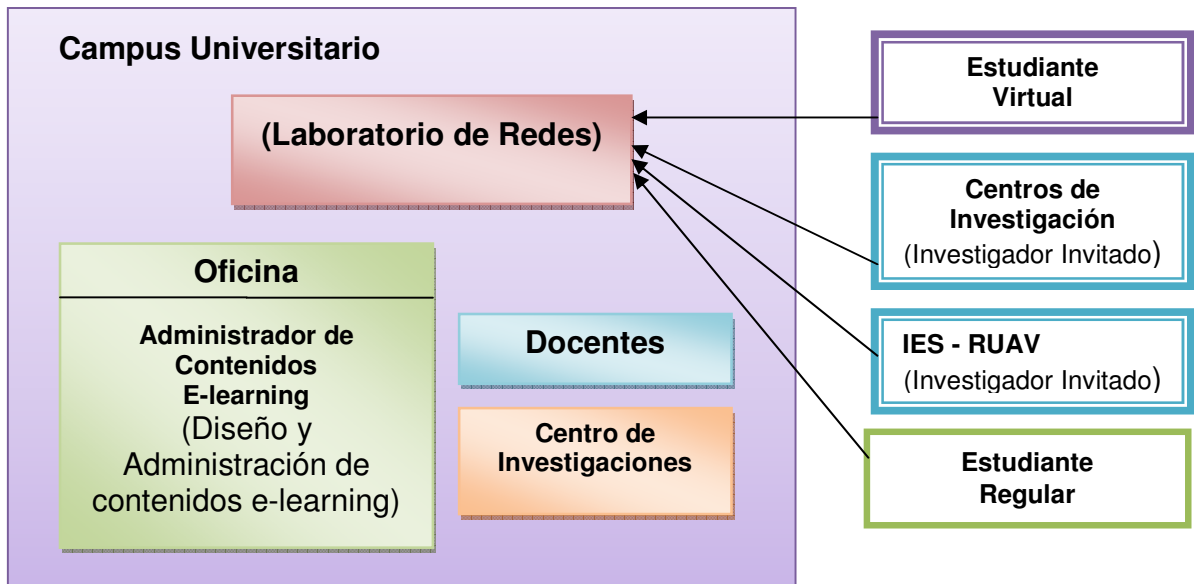


Figura 6. Geografía del evento

También es necesario identificar el tipo de usuarios, aplicaciones, dispositivos del sistema. El resultado será una descripción exacta de las redes de acceso, Una de las razones por las cuales se identifican los componentes del sistema es entender la forma como estos se relacionan, dentro de este conjunto los usuarios representan los clientes finales del sistema.

En la Tabla 31. Se describen los usuarios del sistema. El número de usuarios que utilizará el laboratorio remoto, se asigna para hacer el cálculo de los flujos de backbone y poder determinar la capacidad del canal de internet que requiere el laboratorio para su funcionamiento.

Los investigadores podrán acceder a este recurso con *mayores privilegios, en el diseño de la arquitectura se contempla que investigadores y estudiantes, estén en un segmento de red diferente. La subdivisión en segmentos de red diferentes, garantiza que no se interfieran el tráfico de la red académica y la red de investigaciones. En caso de que un segmento de red deje de funcionar no se afectan los servicios que se ofrecen a otros usuarios.

Usuario	Nombre Nemotécnico	Ubicación	Numero de Usuarios
Estudiante	EST	Acceso Remoto	100
Docente/Facilitador	DOC	Acceso Remoto	10
Investigador	INV	Laboratorio de investigaciones	25
Investigador invitado	INVI	Otras universidades o centros de investigación	20
Administrador de Contenidos	AC	Coordinador de plataformas e-learning	5
Director de programa	DP	Dirección de programa	5
Centros de investigación	CI	Grupos de investigación	2
Universidades	U	Universidades que hacen parte de redes académicas de investigación	11

Tabla 27. Identificación de Usuarios del Sistema

La figura 7 muestra el modelo de los componentes del sistema. El componente de usuario se encuentra en la capa más alta, esta puede ser subdividida si es necesario para centrarse en un foco principal del sistema, en un sentido similar la capa de aplicaciones representa el software de aplicaciones para un usuario en particular ó para una base de usuario genérica de toda la red, en la capa de dispositivos, si se hiciera una comparación con el modelo OSI, podrían estar operando varias capas la capa de red, enlace de datos y capa física, presentes en los dispositivos de red (routers, switches) [11].

El término usuario representa principalmente a los usuarios finales del sistema, pero puede ser ampliado para incluir a todos los involucrados en el sistema, tales como los administradores de contenidos, administradores de redes y sistemas de gestión.

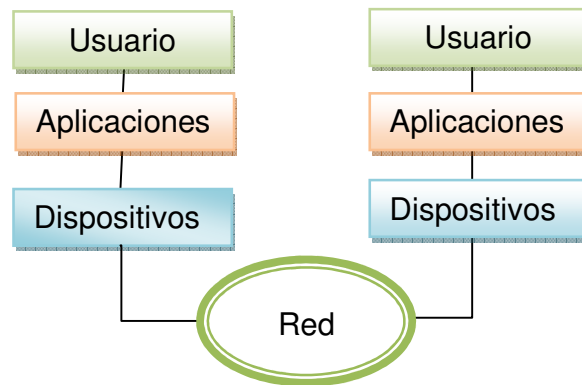


Figura 7. Componentes del sistema

Fuente: Tomada del libro Network Analysis and Design, McCABE James.3 Edición, pág. 49.

4.1.2 Identificación de Servicios

Los servicios comprenden el conjunto de requisitos que se derivan de la entrada del usuario y representan los requerimientos de los usuarios para llevar a cabo con éxito sus tareas en el sistema. La descripción de servicios que ofrece el laboratorio remoto se describe en la Tabla 32.

Servicios	Nombre Nemotécnico	Descripción
Acceso controlado a los recursos del laboratorio	ACL	Controla el acceso de los clientes a los recursos disponibles, con el fin de que estos sean accedidos de una manera controlada. Este control de acceso es basado en roles.
Banco de objetos Virtual aprendizaje	OV	Acceso de estudiantes y docentes a Objetos Virtuales de Aprendizaje.
Gestión de Reservas	GR	Sistema de Gestión de reservas para clases ó trabajo independiente del estudiante.
Gestión de experimentos	GE	Cargue y despliegue de experimentos.
Publicación de contenidos	C	Servicio de publicación de contenidos para docentes e

		investigadores
Servicio de Mensajería Instantánea	GM	Servicio de Gestión de Mensajería en línea
Servicio de correo electrónico	MAIL	Herramientas de comunicación asíncronas
Gestión de estadísticas de uso del laboratorio	GL	Presenta las estadísticas de uso del recurso, tiempos de conexión de usuarios al laboratorio.
Gestión de conexiones	GC	Determina el número de conexiones y estado de las conexiones.
Gestión de contenidos (presentaciones)	GP	Sirve para que el docente pueda presentar a sus estudiantes las diapositivas de la clase
Servicio de videoconferencia	GV	Solución práctica para la ejecución de cursos a distancia o encuentros de investigadores.
Gestión de laboratorios	GL	Ejecución de laboratorios en Tiempo real
Consultar laboratorios grabados	RL	El estudiante puede consultar el video de los laboratorios grabados..

Tabla 28. Identificación de servicios del Laboratorio de Acceso Remoto

4.1.3 Matriz de usuarios Vs Servicios

A continuación se presenta la matriz de usuario Vs. Servicios del laboratorio Remoto.

USR	ACL	OV	GR	GE	PC	GM	MAIL	GL	GC	GP	GV	GL	RL
EST	X	X	X			X	X		X	X	X		X
DOC	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
INV	X			X	X	X	X	X		X	X		
AC	X	X			X		X		X				
INVI	X			X	X	X	X	X		X			
CI	X			X	X	X	X	X		X			
U	X			X	X	X	X	X	X	X			
DP												X	

Tabla 4. Matriz de usuarios Vs Servicios

4.1.4 Mapa de Aplicaciones

El servicio que ofrece la plataforma moodle a la comunidad educativa es indudablemente muy importante, sin embargo esta plataforma no cubre todos los aspectos requeridos por los modelos actuales de aprendizaje, tales como las prácticas de laboratorios, las cuales están fuera del alcance actual de la herramienta. Un alto porcentaje de las expectativas de los stakeholders está cubierto por moodle (publicación de contenidos, ejercicios, exámenes en línea, entre otros), es por esta razón que el sistema de laboratorio remoto busca integrarse con esta plataforma y no contempla el desarrollo de aplicaciones que están soportadas por moodle y herramientas de administración de contenido como Joomla. Ver Figura 8.

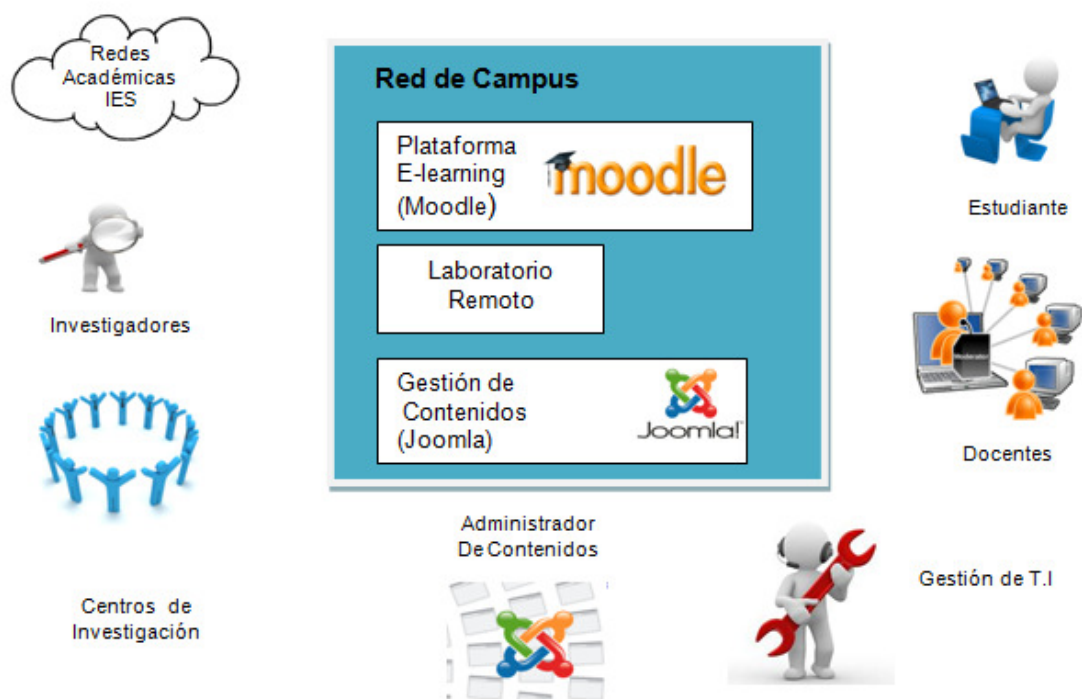


Figura 8. Mapa de aplicaciones

4.1.5 Identificación de Flujos de información

El análisis de usuarios, aplicaciones, servicios, desempeño de las aplicaciones, forman la base para estimar como fluye la información en la red. El análisis de flujo del tráfico de la red, en la que es probable que ocurran. La intención del análisis de flujo en una red no es mostrar cada uno de los flujos, sino mostrar aquellos que tendrán más impacto en el diseño y la arquitectura de la red³

Sitio	Información	Fuente	Destino
Sitio Remoto	Ejecución de experimentos en laboratorio remoto	Experimento	Servidor de administración de prácticas de laboratorio
Sitio Remoto	Consulta de Objetos Virtuales de aprendizaje	Objeto Virtual de aprendizaje	Servidor de Contenidos (OVA)
Sitio Remoto	Transmisión de clase	Curso virtual	Servidor de Video Conferencia
Sitio Remoto	Mensajería Instantánea	Comunicación Síncrona entre	Servidor Moodle LMS (Learning Management

³ McCABE James. Network Analysis Architecture and Design. 3rd. Edition. New York 2007.pag 161

		estudiante y docente	System, sistema de administración de aprendizaje).
Coordinación de plataformas e-learning.	Publicación de contenidos	Actualización de contenidos	Servidor Moodle LMS (Learning Management System, sistema de administración de aprendizaje).
Sitio Remoto	Gestión de Reservas del laboratorio	Reserva para uso del laboratorio	Servidor de prácticas de laboratorio.
Sitio Remoto	Registro de usuarios al portal web	Administración de cuentas y perfiles de usuario	Servidor web (Joomla)
Sitio Remoto	Grabación de experimentos ó laboratorios	Almacenar experimentos ó prácticas de laboratorio	Servidor de prácticas de laboratorio
Sitio Local	Monitoreo y Seguimiento de experimentos	Monitoreo y seguimiento de práctica de laboratorio	Servidor de prácticas de laboratorio
Sitio Local	Evaluación de estudiantes	Evaluación en línea	Servidor Moodle LMS (Learning Management System, sistema de administración de aprendizaje).
Dirección de programa	Estadísticas de uso de laboratorio remoto	Consulta de estadísticas de laboratorio	Servidor de prácticas de laboratorio
Campus Universitario	Control de acceso controlado	Coordinador de infraestructura	Servidor Firewall

Tabla 29. Descripción de Servicios y Flujos de información

4.1.6 Identificación de servicios y Flujos de información

Servicio: Flujos de información sobre el servidor de prácticas de laboratorio y reservas de estudiantes, docentes e investigadores.

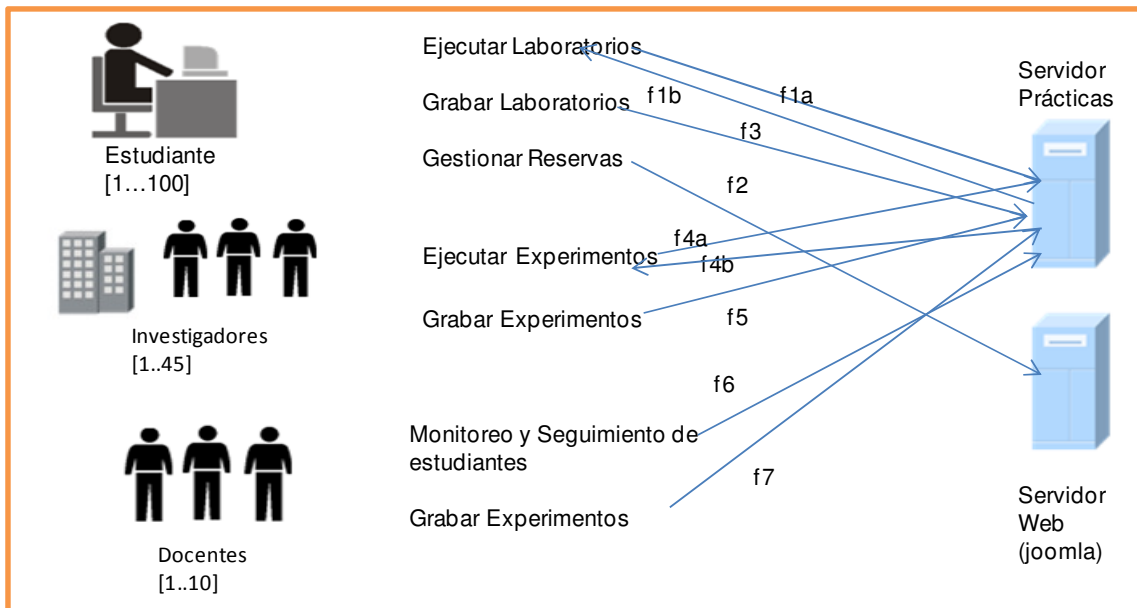


Figura 9. Identificación de flujos de información para el uso del laboratorio remoto.

Servicio: Flujos de información sobre el servidor de Objetos Virtuales de Aprendizaje

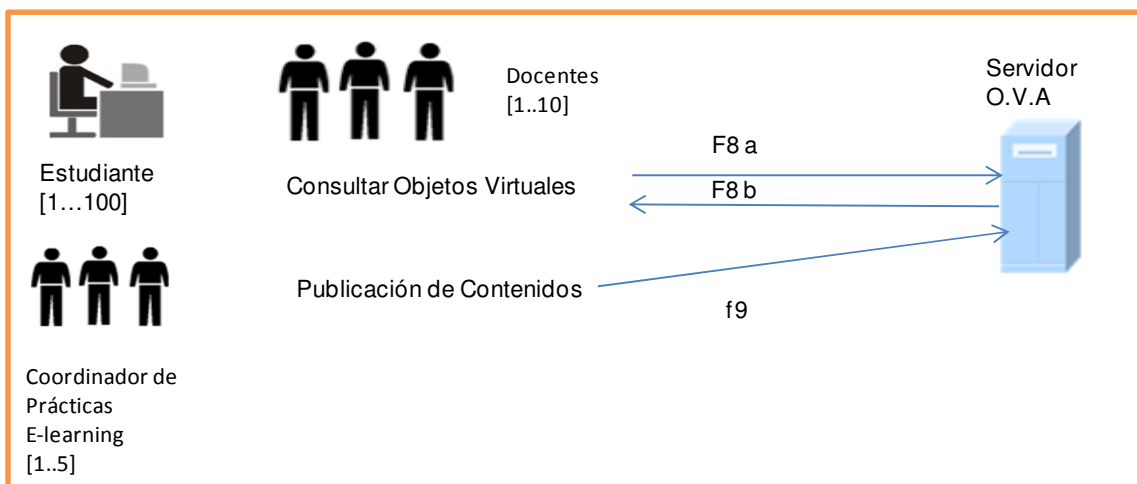


Figura 10. Servicio: consulta de Objetos Virtuales de Aprendizaje

Servicio: Videoconferencia para clases virtuales y encuentros de investigadores

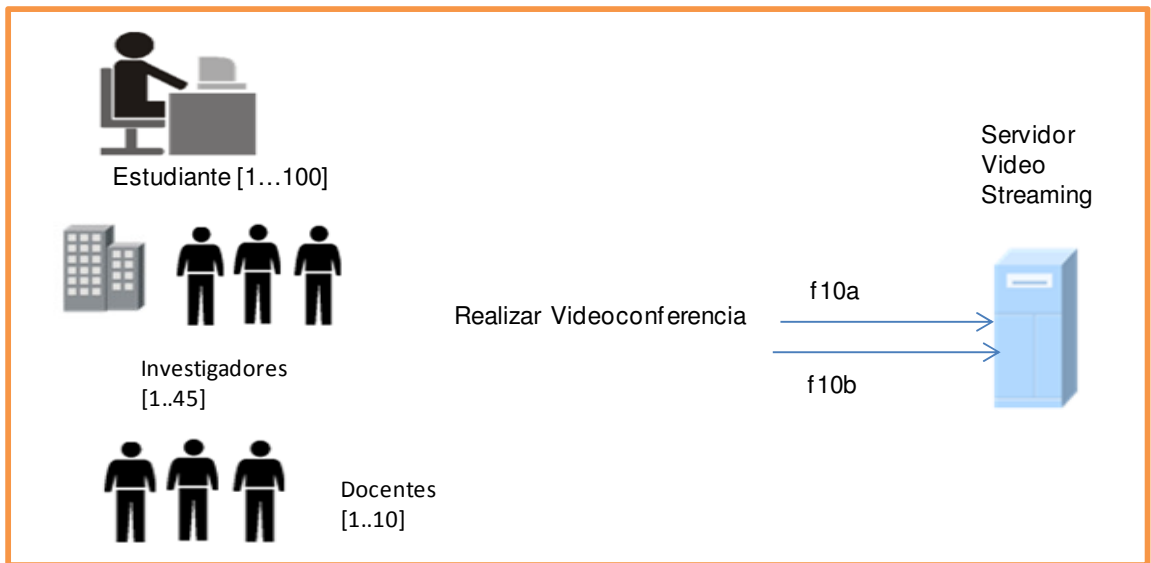


Figura 11. Identificación de flujos hacia al servidor de videoconferencia

Servicio: Administración de contenidos e-learning (moodle)

Servicio: Gestión de usuarios y roles

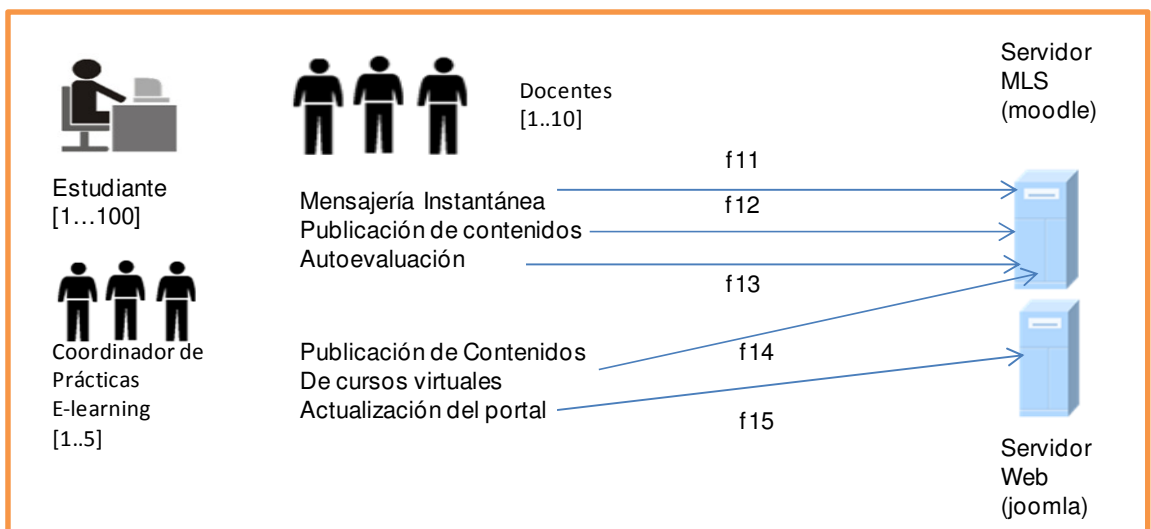


Figura 12. Identificación de Flujos para sistema e-learning (moodle) y gestión de contenidos (joomla).

Servicio: Acceso controlado a los recursos

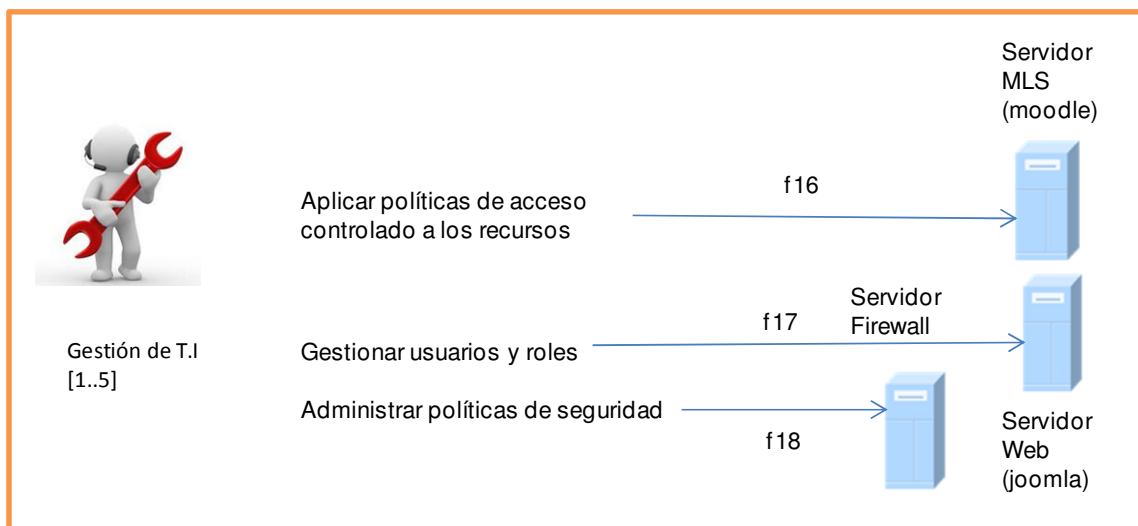


Figura 13. Acceso controlado a los recursos.

4.1.7 Clasificación de las aplicaciones.

Aplicación	Tipo	Características	Clasificación
Sistema de Gestión de aprendizaje (Moodle)	Ambiente Educativo Virtual	Aplicación interactiva	Tasa controlada
Sistema de administración de contenidos (Joomla)	Interfaz web	Aplicación interactiva	Tiempo real
Correo Electrónico	Interfaz web	Comunicación asíncrona	Tasa controlada
Laboratorio remoto en redes definidas en software	Interfaz web	Aplicación interactiva	Tiempo real
Sistema de videoconferencia	Interfaz web	Aplicación interactiva	Tiempo real

Tabla 30. Clasificación de aplicaciones.

4.1.8 Características de desempeño de las aplicaciones.

Aplicaciones	Tasa (Kbps)	Confiabilidad	Retardo (seg.)	Variación (seg)
Sistema de Gestión de aprendizaje (Moodle)	232	99.5%	12	0.8
Sistema de administración de contenidos (Joomla)	232	99.5%	12	0.8
Correo Electrónico	240	99.5%	75	0.8
Laboratorio remoto en redes definidas en software	320	99.5%	12	0.8
Sistema de videoconferencia	70	99.95%	12	0.8

Tabla 31. Características de desempeño de las aplicaciones.

4.1.9 Identificación de flujos individuales

✓ **Ejecución de laboratorios en el laboratorio remoto f1a, f1b**

- A. Capacidad: 512 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 1
- F. Volumen de información del flujo: 512 Kbps

✓ **Gestionar reserva de laboratorio remoto f2**

- A. Capacidad: 70 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 100
- F. Volumen de información del flujo: 7000 Kbps

✓ **Grabar prácticas de laboratorio f3**

- A. Capacidad: 232 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%

- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 1
- F. Volumen de información del flujo: 232 Kbps.

✓ **Ejecutar experimentos f4**

- A. Capacidad: 512 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de investigadores: 1
- F. Volumen de información del flujo: 512 Kbps

✓ **Grabar experimentos de laboratorio f5**

- A. Capacidad: 232 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de investigadores: 1
- F. Volumen de información del flujo: 232 Kbps

✓ **Monitoreo y seguimiento de laboratorio f6**

- A. Capacidad: 512 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 1
- F. Volumen de información del flujo: 512 Kbps

✓ **Grabar experimentos de laboratorio f7**

- A. Capacidad: 232 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de investigadores: 1
- F. Volumen de información del flujo: 232 Kbps

✓ **Consultar Objetos Virtuales de Aprendizaje f8a, f8b**

- A. Capacidad: 232 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.

- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 20
- F. Volumen de información del flujo: 4.640 Kbps.

✓ **Publicación de Contenidos f9**

- A. Capacidad: 232 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Coordinador de plataformas e-learning: 5
- F. Volumen de información del flujo: 1160 Kbps.

✓ **Servicio de videoconferencia f10a, f10b.**

- A. Capacidad: 70 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 100
- F. Volumen de información del flujo: 7000 Kbps.

✓ **Mensajería instantánea f11**

- A. Capacidad: 32 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 100
- F. Volumen de información del flujo: 3200 Kbps.

✓ **Publicación de contenidos de clase f12.**

- A. Capacidad: 232 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Número de estudiantes: 25
- F. Volumen de información del flujo: 5.800 Kbps

✓ **Autoevaluación f13.**

- A. Capacidad: 120 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg

- E. Número de estudiantes: 100
- F. Volumen de información del flujo: 1200 Kbps.

✓ **Publicación de contenidos de cursos virtuales f14**

- A. Capacidad: 128 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Coordinador de plataformas e-learning: 5
- F. Volumen de información del flujo: 640 Kbps

✓ **Publicación de contenidos de en el portal web f15**

- A. Capacidad: 270 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Coordinador de plataformas e-learning: 5
- F. Volumen de información del flujo: 1350 Kbps

✓ **Políticas de acceso controlado a los recursos f16**

- A. Capacidad: 320 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Coordinador de infraestructura de T.I: 1
- F. Volumen de información del flujo: 320 Kbps

✓ **Gestión de usuarios y privilegios f17**

- A. Capacidad: 320 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Coordinador de infraestructura de T.I: 1
- F. Volumen de información del flujo: 320 Kbps.

✓ **Administrar políticas de seguridad f18**

- A. Capacidad: 238 Kbps
- B. Confiabilidad: 99,5%
- C. Retardo: 12 mseg.
- D. Variación de retardo: 0,8 mseg
- E. Coordinador de Infraestructura de T.I: 1

F. Volumen de información del flujo: 238 Kbps

4.1.10 Identificación de Flujos de backbone

Una vez identificados los flujos individuales, la capacidad del flujo y el volumen de información, se proceda a sumar los flujos para obtener los flujos de mayor esfuerzo que conforman los flujos de backbone.

Componentes del flujo de backbone BB1:

Corresponde a los flujos identificados en el segmento de la red académica:

f1a,f1b,f2,f3,f6,f8a, f8b,,f10a,f10b,f11,f12,f13

B1B1: \sum capacidades = 29,390625 MB

Componentes del flujo de backbone BB2:

Corresponde al tráfico de la red generado en el segmento de la red de investigaciones.

f4a, f4b, f5, f7, f9

BB2: \sum capacidades = 3.0859375 MB

Componentes del flujo de backbone BB3:

Corresponde al tráfico de la red generado en el segmento de la red administrativa:

f14, f15, f16, f17, f18

BB3 \sum capacidades = 3,933549375 MB

4.2 Diseño de la Arquitectura del Laboratorio Remoto

Para el diseño de la arquitectura del laboratorio, se utilizará un modelo jerárquico, dado que una red jerárquica se administra y expande con mayor facilidad. El diseño de este tipo de redes está constituido por tres capas independientes, las cuales cumplen una función específica.

La separación en capas hace que el diseño de la red se vuelva modular, un modelo jerárquico típico consta de tres capas a saber: capa de acceso, capa de distribución y capa de núcleo.

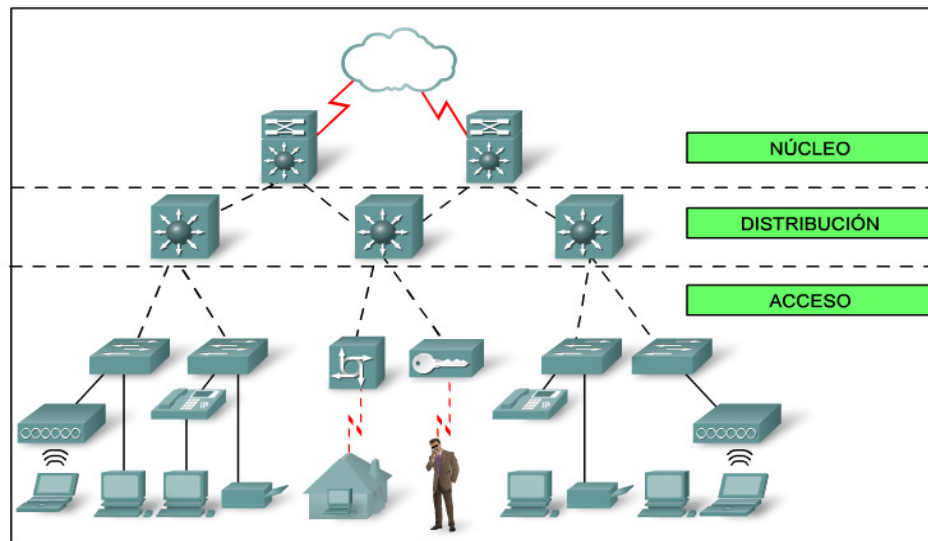


Figura 14. Topología jerárquica en el mundo real

Fuente: Currículo e-learning de Academia Cisco

La capa de acceso: están disponibles los dispositivos finales, como computadoras, impresoras y teléfonos IP, para proporcionar el acceso a las redes, esta capa también puede incluir router y switches y puntos de acceso inalámbricos.

La capa de distribución: agrega los datos recibidos de los switches de la capa de acceso antes de que se transmitan a la capa núcleo para el enrutamiento hacia su destino final. La capa de distribución controla el flujo de tráfico de la red con el uso de políticas y traza los dominios de broadcast al realizar el enrutamiento de las funciones entre las LAN virtuales (VLAN) (Virtual Local Área Network, Redes Virtuales de Área Local),

La capa de núcleo: es el backbone de alta velocidad de la internetwork. La capa núcleo es esencial para la interconectividad entre los dispositivos de la capa de distribución, por lo tanto, es importante que el núcleo sea sumamente disponible y redundante. El área del núcleo también puede conectarse a los recursos de Internet. El núcleo agrega el tráfico de todos los dispositivos de la capa de distribución.

Existen muchos beneficios asociados a una red jerárquica, entre ellos están: la escalabilidad, redundancia, rendimiento, seguridad, facilidad de administración y facilidad de mantenimiento.

4.2.1 Diseño de la arquitectura de la red del campus

Dentro de este diseño se contemplan tres subredes académica, administrativa y de investigaciones. El acceso de otras universidades y centros de investigación se realiza a través de la red de alta velocidad del nodo valle (RUAV). El acceso para conexiones remotas para estudiantes que estén fuera del campus, se realiza a través de conexión segura utilizando un navegador de internet. Los estudiantes remotos se conectan desde Internet, usando un navegador web, webcam y micrófono. El establecimiento de la conexión se hace a través de protocolo HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure, en español protocolo seguro de transferencia de hipertexto).

En la figura 16, la capa de núcleo provee transporte de alta velocidad entre los niveles de distribución, se dispone de dos switch con redundancia, en los cuales se establecen redes virtuales. Así en caso de que un switch falle el otro switch entraría a operar, estos enlaces redundantes aparecen representados con una línea punteada de color azul.

La capa de distribución provee las funciones de distribución desde la infraestructura de campus hasta el borde corporativo, este contiene todas aquellas funciones que caracterizan la organización con los proveedores de servicio, incluye acceso a Internet, acceso remoto, WAN corporativa, esta capa también agrega todos los switches de nivel de acceso, QoS (Quality Of Service, calidad de servicio), redundancia y balanceo de cargas.

Para las redes definidas en software todos los switch y enrutadores deben soportar el protocolo OpenFlow. El diseño de la red también contempla la conexión de enlaces de backup con dos proveedores de comunicaciones diferentes, esto para garantizar que el laboratorio tenga alta disponibilidad.

La conexión de los centros de investigación y otras universidades se realiza a través de la RUAV, a través de la red MPLS que maneja un canal local con una capacidad de 100 MB. Para el tráfico internacional se requiere una conexión de 30 MB.

Finalmente en la capa de acceso provee el acceso a las tres subredes del campus así como también la conexión de usuarios, redes inalámbricas y servicios.

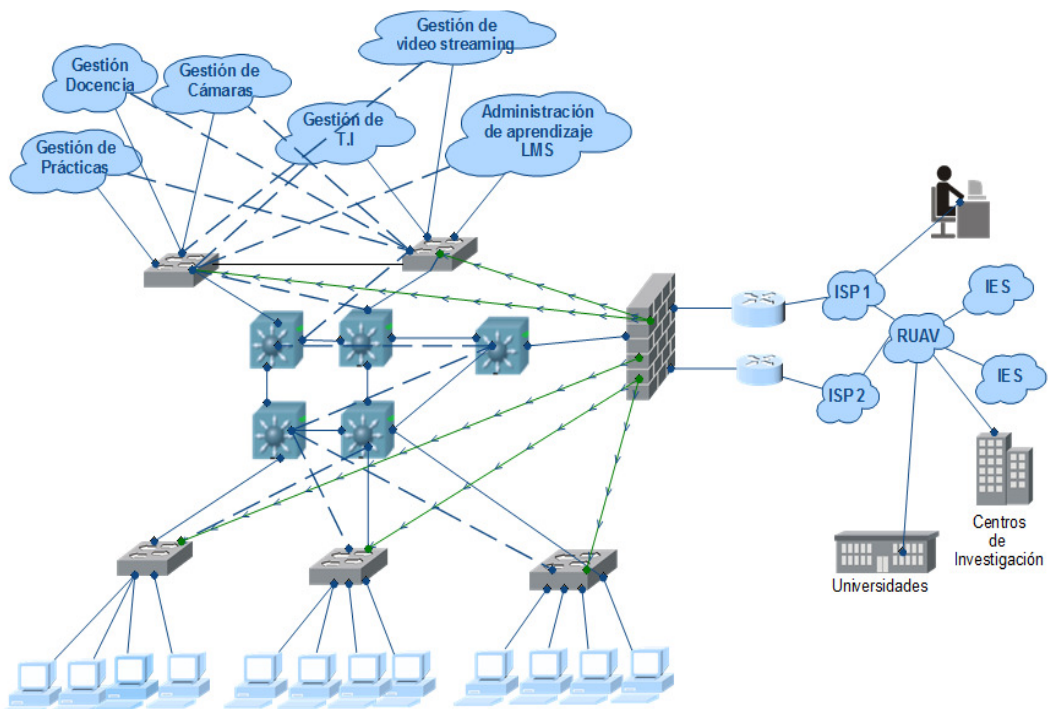


Figura 15. Diseño de la arquitectura de la red de campus

La granja de servidores provee acceso de alta velocidad y alta disponibilidad a los servidores. La zona militarizada (DM) corresponde al direccionamiento privado y la zona desmilitarizada (DMZ) tiene direccionamiento público. Ver figura 16.

En la zona desmilitarizada se encuentran los servidores públicos:

- Servidor DNS, DHCP
- Servidores web (joomla)
- Servidor de contenidos e-learning (moodle)
- Servidor de Correo
- Servidor firewall

En la zona militarizada se encuentran los servidores privados estos son:

- Servidor de Cámaras
- Servidor de Streaming de video
- Servidor Controlador OpenFlow (NOX)
- Monitoreo y seguimiento de estudiantes.
- Servidor de Objetos Virtuales de Aprendizaje
- Servidor de Bases de Datos

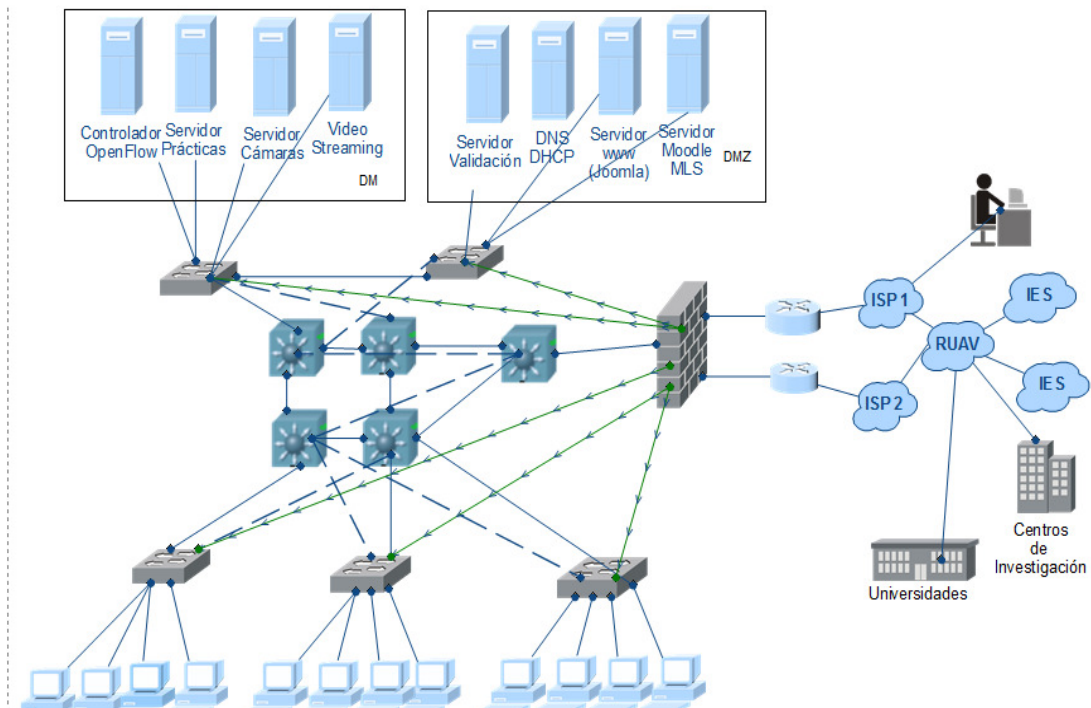


Figura 16 Diseño de la red del campus, identificación de DM y DMZ.

4.2.2 Diseño del Direccionamiento IP

Para la configuración de la red, se utilizará direccionamiento IP usando el método de direccionamiento por VLSM (Variable Length Subnet Masking, máscaras de longitud variable). Cuya función principal es evitar el desperdicio de las direcciones IP.

Según la distribución del laboratorio se requieren cinco redes tipo LAN (Local Area Network, Red de Área Local) y 5 redes WAN para un total de 10 subredes así:

Red 1: 20 hosts

Red 2: 14 hosts

Red 3: 10 hosts

Red 4: 6 hosts

Red 5: 5 hosts

Para las 5 redes WAN se requieren 2 direcciones válidas para cada enlace.

Al sumar el número de hosts que requiere la red, tenemos un total de 55 hosts, como el número de direcciones IP es mucho menor de 254 direcciones IP el direccionamiento utilizado para las redes es clase C.

Organizamos las redes de la más grande a la más pequeña. Siempre se empieza calculando la subred que es de mayor tamaño. Al final se asigna el direccionamiento para las redes WAN (Wide Área Network, Redes de área amplia).

Calculamos la primera red la cual requiere 20 equipos.

Se utiliza una dirección clase C. 192.168.1.0 /24

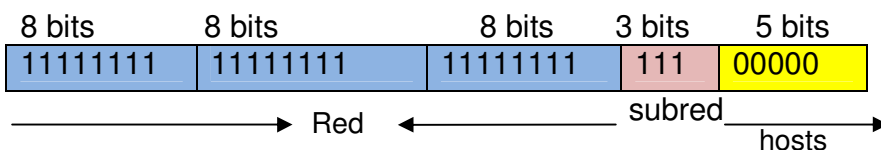
Para 20 equipos pedimos prestados 5 bits de la porción de la dirección que corresponde al hosts así:

$$2^5 = 32$$

$32 - 2 = 30$ direcciones IP válidas, restamos dos la dirección de red y la dirección de Broadcast.

Pasamos la máscara 255.255.255.0 a formato binario

11111111.11111111.11111111.00000000



El resultado de este ejercicio nos da como resultado la tabla de direccionamiento IP. Ver Tabla 36.

Número de subred	Dirección Red	Dirección Primer host	Dirección Último host	Dirección Broadcast	Máscara De Subred
0	192.168.1.0	192.168.1.1	192.168.1.30	192.168.1.31	255.255.255.192
1	192.168.1.32	192.168.1.33	192.168.1.46	192.168.1.47	255.255.255.240
2	192.168.1.48	192.168.1.49	192.168.1.62	192.168.1.63	255.255.255.240
3	192.168.1.64	192.168.1.65	192.168.1.70	192.168.1.71	255.255.255.248
4	192.168.1.72	192.168.1.73	192.168.1.78	192.168.1.79	255.255.255.248
5	192.168.1.80	192.168.1.81	192.168.1.82	192.168.1.83	255.255.255.252
6	192.168.1.84	192.168.1.85	192.168.1.86	192.168.1.87	255.255.255.252
7	192.168.1.88	192.168.1.89	192.168.1.90	192.168.1.91	255.255.255.252
8	192.168.1.92	192.168.1.93	192.168.1.94	192.168.1.95	255.255.255.252
9	192.168.1.96	192.168.1.97	192.168.1.98	192.168.1.99	255.255.255.252

Tabla 32 Tabla de direccionamiento IP

4.2.3 Asignación del Direccionamiento IP

Dispositivo	Interface	Dirección IP	Máscara	Gateway
Router 0	S/0/3/0	192.168.1.98	255.255.255.252	N/A
Router 1	F/0/0	192.168.1.30	255.255.255.252	N/A
	S/0/0/0	192.168.1.93	255.255.255.252	
	S/0/0/1	192.168.1.81	255.255.255.252	
Router 2	F/0/0	192.168.1.46	255.255.255.252	N/A
	S0/1/0	192.168.1.85	255.255.255.252	
	S0/0/1	192.168.1.82	255.255.255.252	
Router 3	F/0/0	192.168.1.46	255.255.255.252	
	S0/1/0	192.168.1.85	255.255.255.252	
	S0/0/1	192.168.1.82	255.255.255.252	
Router 4	F/0/0	192.168.1.78	255.255.255.252	
	F/0/1	192.168.1.70	255.255.255.252	
	S/0/0/1	192.168.1.89	255.255.255.252	
	S/0/0/0	192.168.1.94	255.255.255.252	

Tabla 33. Asignación de direcciones IP a dispositivos de red

4.2.4 Diseño del laboratorio de redes

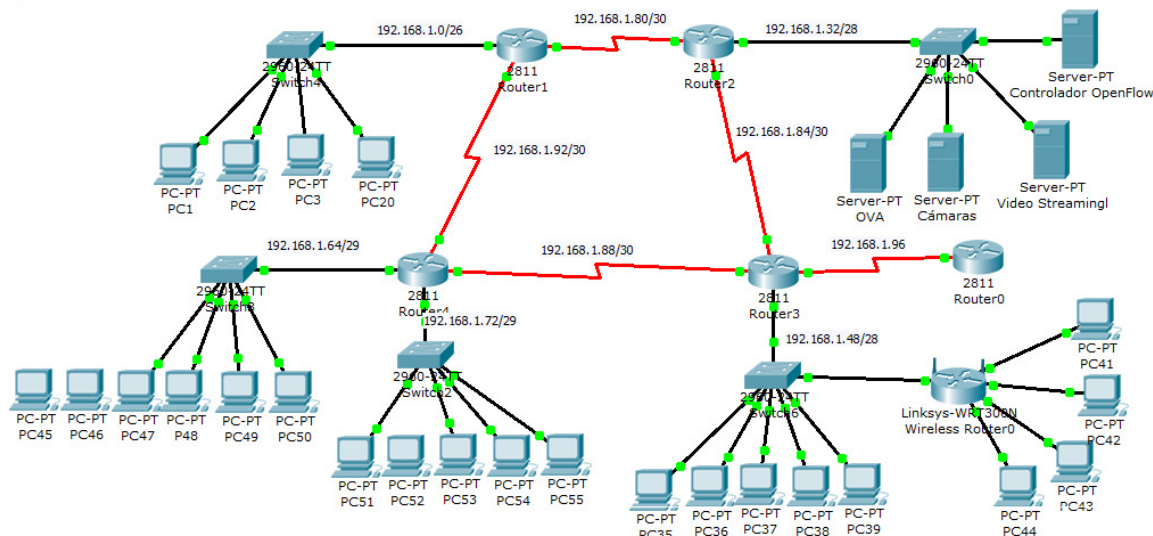


Figura 17 Diseño del laboratorio de redes

4.3 Mecanismos para la gestión de la red

Una vez el laboratorio este operando se requiere de herramientas de software para administrar la red, aunque estas se encuentran en el mercado a un alto costo, existen herramientas de código abierto que son muy buenas y ayuda al administrador de la red en su gestión. A continuación se resumen algunas:

Software	Características
Wireshark	Analizador de protocolos utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones, para desarrollo de software y protocolos, y como una herramienta didáctica para educación. Cuenta con todas las características estándar de un analizador de protocolos.
Nagios	Es un sistema de monitorización de redes de código abierto ampliamente utilizado, que vigila los equipos (hardware) y servicios (software) que se especifiquen, alertando cuando el comportamiento de los mismos no sea el deseado. Entre sus características principales figuran la monitorización de servicios de red (SMTP, POP3, HTTP, SNMP), la monitorización de los recursos de sistemas hardware (carga del procesador, uso de los discos, memoria, estado de los puertos...), independencia de sistemas operativos, posibilidad de monitorización remota mediante túneles SSL cifrados o SSH, y la posibilidad de programar plugins específicos para nuevos sistemas.

Tabla 34. Herramientas de código abierto para el moni*toreo de redes.

5. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

5.1 Experimento 1- Prototipo de una topología de red definida en software SDN.

Para dar una idea de cómo funcionan las redes programables se diseña una topología de red. La validación del prototipo se realizó usando el software Mininet, diseñado para ejecutar prototipos de redes definidas en software, utilizando como lenguaje de programación python versión 2.7.3. La implementación del laboratorio se encuentra documentada en el **Anexo 1**. Instalación y configuración de entorno de pruebas con Mininet.

MiniNet, desarrollado por **Brandon Heller**⁴, Este software apoya la investigación, aprendizaje, desarrollo de prototipos, pruebas, depuración. El mayor beneficio es tener una red experimental completa en un ordenador portátil o cualquier otro PC.

MiniNet:

- Ofrece un banco de pruebas de red sencillo y barato para el desarrollo de aplicaciones OpenFlow.
- Permite que varios desarrolladores puedan trabajar de forma concurrente e independiente en la misma topología
- Apoya a nivel de sistema pruebas de regresión, que son repetibles y de fácil empaquetado.
- Permite el ensayo de topología compleja, sin la necesidad de cable hasta una red física
- Incluye un Interfaz de Línea de Comando (CLI) para depurar o ejecutar las pruebas en toda la red

Compatible con cualquier tipo de topología personalizada, e incluye un conjunto básico de una topología parametrizada. También proporciona una API de Python sencillo y extensible para la creación de redes y experimentación.

MiniNet proporciona una manera fácil de obtener un comportamiento correcto del sistema y experimentar con topologías, que pueden escalar hasta cientos de nodos.

⁴ investigador del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Stanford, California E.E.U.U

El código desarrollado se puede probar en MiniNet, por un switch y controlador OpenFlow, la simulación de un prototipo, puede pasar a un sistema real sin cambios, para pruebas de evaluación del desempeño y el despliegue en el mundo real.

Mininet ha sido utilizado por más de 100 investigadores en más de 18 instituciones entre ellas: Princeton, Berkeley, la universidad de Massachusetts, la universidad de Huntsville, NEC, la NASA, los laboratorios de Deutsche Telekom. Así como siete universidades en Brasil, los casos de uso desarrollados se dividen en topologías, optimización, diseño, tutoriales, y pruebas de regresión para poner en prueba un prototipo de red.

5.2 Topología de red

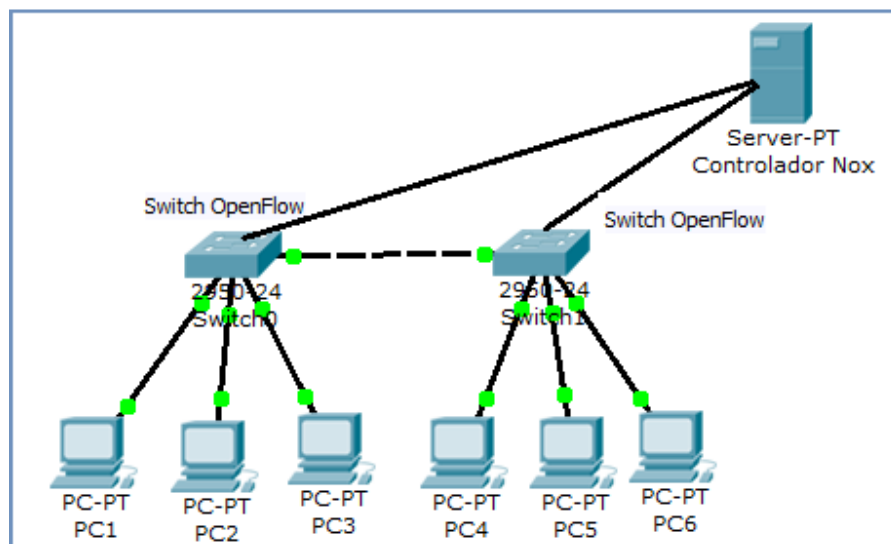


Figura 18 Topología de red

Objetivos:

- Programar el prototipo de la red en python
- Realizar pruebas de conectividad entre los dispositivos de red utilizando el protocolo ICMP (Protocolo de Control de Mensajes en internet) con un ping.
- Listar la tabla ARP del switch
- Utilizar la interfaz de línea de comando, para validar información del prototipo creado.

El código fuente del programa que se utiliza para crear la topología de red, fue desarrollado en lenguaje de programación python versión 2.7.3.

```
#!/usr/bin/python
```

```
"""
```

```
Este prototipo, crea una topología de red con dos switch OpenFlow y tres equipos conectados en cada switch
```

```
"""
```

```
from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller
from mininet.cli import CLI
from mininet.log import SetLogLevel, info
```

```
def emptynet ( ),
```

```
    “ Crea la red y adiciona nodos.”
    net=mininet ( controller = Controller )
```

```
    info( *** Adiciona el controlador\n´ )
    net.addController ( ´c0´ )
```

```
    info( *** Adicionando hosts\n´ )
```

```
    h1 = net.addHost ( ´h1´, ip = ´ 10.0.0.1´ )
    h2 = net.addHost ( ´h2´, ip = ´ 10.0.0.2´ )
    h3 = net.addHost ( ´h3´, ip = ´ 10.0.0.3´ )
    h4 = net.addHost ( ´h4´, ip = ´ 10.0.0.4´ )
    h5 = net.addHost ( ´h5´, ip = ´ 10.0.0.5´ )
    h6 = net.addHost ( ´h6´, ip = ´ 10.0.0.6´ )
```

```
    info( *** Adicionando Switch \n´ )
```

```
    s3 = net.addSwitch( ´s3´ )
    s4 = net.addSwitch( ´s4´ )
```

```
    info( *** Creando enlaces \n´ )
```

```
    h1.linkTo( s3 )
    h2.linkTo( s3 )
    h3.linkTo( s3 )
    h4.linkTo( s4 )
    h5.linkTo( s4 )
    h5.linkTo( s4 )
    h6.linkTo( s4 )
    s3.linkTo( s4 )
```

```
    info( *** Inicializando la red \n´ )
```

```
    net.start()
    info( *** Ejecutando CLI \n´ )
```

```
    CLI( net )
    info( *** Deteniendo la red \n´ )
```

```
    net.stop()
```

```
if __name__ == ´__main__´ :
```

```
    SetLogLevel ( ´info´ )
```

```
    emptyNet ( )
```

Una vez realizado el programa en python, se ejecuta la máquina virtual de Mininet:

```
Login: openflow
Password: openflow
```

Para ejecutar el programa es necesario ingresar con privilegios de usuario root

```
openflow@mininet-vm:~$ sudo su
```

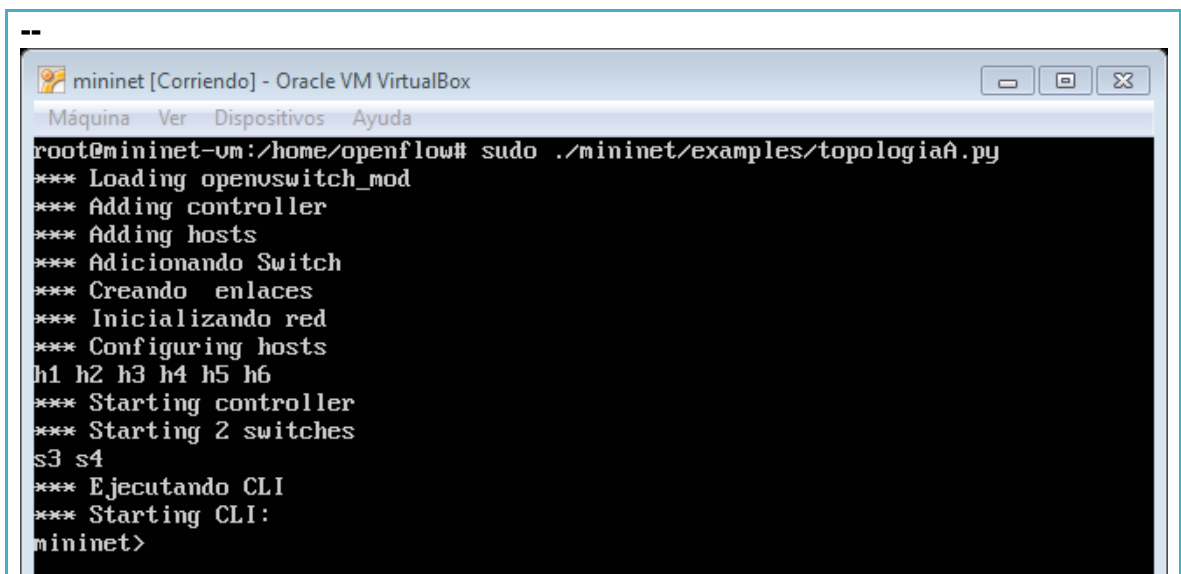
Observe que la entrada cambia de signo \$ a signo #.

```
openflow@mininet-vm:/home/openflow#
```

Ingresar la ruta donde esta almacenado el programa así:

```
openflow@mininet-vm:/home/openflow# sudo ./mininet/examples/topologiaA.py
```

En la salida del sistema se puede observar como es creada la topología y como se inicializa la red:



```
mininet [Corriendo] - Oracle VM VirtualBox
Máquina Ver Dispositivos Ayuda
root@mininet-vm:/home/openflow# sudo ./mininet/examples/topologiaA.py
*** Loading openvswitch_mod
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adicionando Switch
*** Creando enlaces
*** Inicializando red
*** Configuring hosts
h1 h2 h3 h4 h5 h6
*** Starting controller
*** Starting 2 switches
s3 s4
*** Ejecutando CLI
*** Starting CLI:
mininet>
```

Desde la interface de línea de comandos CLI, es posible ejecutar varias pruebas al prototipo, en la **Tabla 33** se describen algunos comandos utilizados en la fase de experimentación y su funcionalidad.

Comando	Descripción
h2 ifconfig -a	Muestra la configuración de las interfaces de red
s3 ifconfig -a	Muestra la configuración de las interfaces del switch
h2 ps -a	Imprime la lista de procesos a partir de un proceso de hosts
s4 ps -a	Imprime la lista de procesos del switch
h2 ping -c 1 h3	Uso de ping a través de una solicitud de eco, utilizando ICMP (Protocolo de Control de Mensajes de Internet)
py dir (s3)	Ver métodos y propiedades disponibles para el switch.
py dir (h2)	Ver métodos y propiedades disponibles para el hosts
dpctl dump-flows tcp:127.0.0.1:6634	Ver múltiples entradas de flujo

Tabla 35. Descripción de comandos ejecutados en CLI de Mininet.

Una vez se ejecuta el programa se crea la topología de red con 6 hosts y dos switch, inmediatamente se habilita la interfaz de línea de comandos desde donde se puede probar la configuración de la red:

Para conocer la configuración de las interfaz de red del host h2, se ejecuta desde la línea de comandos: **h2 ifconfig -a**

```
mininet> h2 ifconfig -a
h2-eth0  Link encap:Ethernet  HWaddr e6:7a:78:f9:cb:b3
         inet addr:10.0.0.2  Bcast:10.255.255.255  Mask:255.0.0.0
         inet6 addr: fe80::e47a:78ff:fef9:cbb3/64  Scope:Link
         UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
         RX packets:15 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
         TX packets:6 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
         collisions:0 txqueuelen:1000
         RX bytes:1146 (1.1 KB)  TX bytes:468 (468.0 B)

lo       Link encap:Local Loopback
         LOOPBACK MTU:16436  Metric:1
         RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
         TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
         collisions:0 txqueuelen:0
         RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

mininet>
```

Para ver la configuración del switch se ejecuta el comando: **s1 ifconfig -a**

```

s4-eth1  Link encap:Ethernet  HWaddr 42:76:ed:5c:6f:7b
          inet6 addr: fe80::4076:edff:fe5c:6f7b/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:6 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:16 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:468 (468.0 B)  TX bytes:1224 (1.2 KB)

s4-eth2  Link encap:Ethernet  HWaddr 5a:c4:88:41:22:f7
          inet6 addr: fe80::58c4:88ff:fe41:22f7/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:6 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:16 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:468 (468.0 B)  TX bytes:1224 (1.2 KB)

s4-eth3  Link encap:Ethernet  HWaddr c6:31:bc:ec:be:97
          inet6 addr: fe80::c431:bcff:feec:be97/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:6 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:16 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:468 (468.0 B)  TX bytes:1224 (1.2 KB)

mininet>

```

Con el comando **dump**, se observa la información de todos los nodos que hacen parte de la topología.

```

mininet>
mininet> dump
c0: IP=127.0.0.1 intfs= pid=1149
s3: IP=None intfs=s3-eth1,s3-eth2,s3-eth3 pid=1156
s4: IP=None intfs=s4-eth1,s4-eth2,s4-eth3 pid=1157
h1: IP=10.0.0.1 intfs=h1-eth0 pid=1150
h2: IP=10.0.0.2 intfs=h2-eth0 pid=1151
h3: IP=10.0.0.3 intfs=h3-eth0 pid=1152
h4: IP=10.0.0.4 intfs=h4-eth0 pid=1153
h5: IP=10.0.0.5 intfs=h5-eth0 pid=1154
h6: IP=10.0.0.6 intfs=h6-eth0 pid=1155
mininet>

```

Para probar la conectividad entre los nodos. Utilizamos el comando ping.

h2 ping -c 1 h3

```

mininet> h2 ping -c h3
Usage: ping [-LRUbdfnqrvoUaAD] [-c count] [-i interval] [-w deadline]
          [-p pattern] [-s packetsize] [-t ttl] [-I interface]
          [-M pmtudisc-hint] [-m mark] [-S sndbuf]
          [-T tstamp-options] [-Q tos] [hop1 ...] destination
mininet> h2 ping -c 1 h3
PING 10.0.0.3 (10.0.0.3) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.3: icmp_req=1 ttl=64 time=14.9 ms

--- 10.0.0.3 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 14.945/14.945/14.945/0.000 ms
mininet>

```

La siguiente grafica muestra como están conectados los dispositivos a los switch, para hacerlo se ejecuta el comando **net 0**

```

mininet> net 0
s3 <-> h1-eth0 h2-eth0 h3-eth0
s4 <-> h4-eth0 h5-eth0 h6-eth0
mininet>

```

También es posible desplegar la tabla de routing para el switch 3

```

mininet> s3 route
Kernel IP routing table
Destination Gateway Genmask Flags Metric Ref Use Iface
default 10.0.2.2 0.0.0.0 UG 100 0 0 eth0
10.0.2.0 * 255.255.255.0 U 0 0 0 eth0
mininet>

```

Y la tabla ARP del switch 3.

```

mininet> s3 arp
Address HWtype HWaddress Flags Mask Iface
10.0.2.2 ether 52:54:00:12:35:02 C eth0
mininet>

```

Para salir de la interfaz de línea de comando se utiliza el comando **exit**:

```

mininet> exit
*** Deteniendo la red*** Stopping 6 hosts
h1 h2 h3 h4 h5 h6
*** Stopping 2 switches
s3....s4....
*** Stopping 1 controllers
*** Done
root@mininet-vm:/home/openflow#

```

6. RESULTADOS OBTENIDOS

La propuesta de investigación, plantea el diseño de una arquitectura para un laboratorio remoto definido en software a través del cual se puedan proporcionar entornos de colaboración en el ámbito académico y el desarrollo de proyectos de investigación entre universidades de la RUAV.

Esta iniciativa contempla la integración con otras plataformas e-learning (moodle), la definición de la arquitectura de software y la arquitectura de red, para facilitar la inter-conexión con redes académicas y centros de investigación.

Así mismo el diseño e implementación de dos objetos virtuales de aprendizaje, como apoyo a la labor docente de la asignatura de redes.

Objeto: Configuración básica de un router

Objetivos:

- Conocer el funcionamiento de un router
- Entender la secuencia de inicio del router
- Realizar la configuración básica de un router
- Saber determinar las características básicas de un router
- Aprender a utilizar el sistema operativo del router



Figura 19. **Objeto Virtual de aprendizaje:** configuración básica de un router

Área: Ingeniería de sistemas y Telemática	
Objeto Virtual: Configuración básica de un router	
Autor:	Ana Milena Rojas Calero
Entidad:	Universidad ICESI
Derechos de autor: esta obra esta licenciada bajo licencia Creative Commons	
Idioma: Español	
Uso: Educativo	
Propósito: Entrenar al estudiante en la configuración básica de un router	
Formato: Archivo Comprimido .zip	
Instrucciones de Instalación: Descomprimir el archivo .zip y abrir el archivo index.html Instalar el software Adobe Reader y plugins de flash	

Protocolos de enrutamiento

Objetivos:

- Describir la clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico y ubicar estos protocolos en el contexto del diseño de las redes actuales.
- Describir la estructura de una tabla de enrutamiento.
- Explicar el proceso mediante el cual un router determina la ruta y conmuta paquetes a otras redes.
- Identificar los distintos elementos de la tabla de enrutamiento
- Realizar el enrutamiento estático de una red.

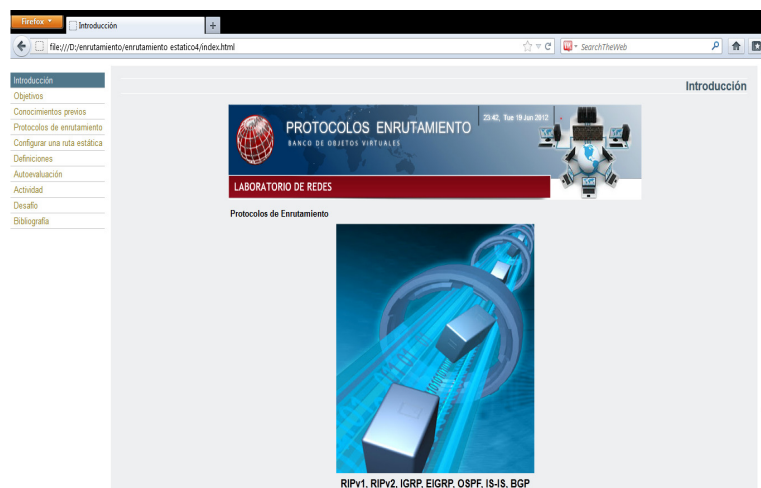


Figura 20. Objeto virtual de aprendizaje: **Protocolos de enrutamiento**

Área: Ingeniería de sistemas y Telemática	
Objeto Virtual: Protocolos de enrutamiento	
Autor:	Ana Milena Rojas Calero
Entidad:	Universidad ICESI
Derechos de autor: esta obra esta licenciada bajo licencia Creative Commons	
Idioma: Español	
Uso: Educativo	
Propósito:	
Formato: Archivo Comprimido .zip	
Instrucciones de Instalación: Descomprimir el archivo .zip y abrir el archivo index.html Instalar el software Adobe Reader y plugins de flash	

Según el Ministerio de Educación Nacional la definición de un objeto virtual de aprendizaje⁵ es “un conjunto de recursos digitales, auto contenible y reutilizable, con un propósito educativo y constituido por al menos tres componentes internos: Contenidos, actividades de aprendizaje y elementos de contextualización. El objeto de aprendizaje debe tener una estructura de información externa (metadatos) que facilite su almacenamiento, identificación y recuperación”.

En respuesta a esto: los objetos de aprendizaje fueron creados siguiendo estas premisas., la plataforma que se utilizó para el desarrollo, es de código abierto ex-learning 2.0.

⁵ Definición tomada del portal: <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/directivos/1598/article-172369.html>

7. CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO

- Las redes definidas en software permite a los investigadores poner en práctica sus experimentos y ejecutarlos en un entorno real.
- El uso de laboratorios remotos abre nuevas posibilidades en la docencia para realizar proyectos de investigación, sin exponer el tráfico de producción en los centros de datos
- Los laboratorios remotos en un entorno académico, complementan el desarrollo de contenidos e-learning para en educación virtual, permitiendo a estudiantes y docentes, contar con infraestructura física, sin necesidad de desplazamientos a un espacio físico.
- Gracias a la eliminación de las restricciones en tiempo y espacio que tienen los laboratorios de acceso remoto, se puede optimizar la utilización de los equipos de laboratorio, los cuales tienen un costo elevado para las instituciones.

Como trabajo futuro, se propone diseñar una infraestructura de red definida en software, entre universidades, que permita la integración de todos los laboratorios de redes, con el fin de propiciar un ambiente de trabajo que permita fomentar la investigación y proveer formación experimental a estudiantes de los programas de pregrado en ingeniería de sistemas, telemática y áreas afines. Este proyecto busca fortalecer la cooperación entre instituciones a través del uso de las redes académicas de alta velocidad. La posibilidad de compartir recursos distribuidos geográficamente y la integración de actividades formativas y de investigación entorno a las redes de datos programables.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Z. e. t. Isidro Calvo, «Laboratorios Remotos y Virtuales en la enseñanza técnica y científica,» *e-Revista didáctica*, vol. 3, nº 1988-5911, p. 21, 2008.
- [2] Ministerio de Comunicaciones República de Colombia, «www.mintic.gov.co/,» 1 Mayo 2008. [En línea]. Available: <http://www.colombiadigital.com.net/PLAN TIC COLOMBIA.pdf>. [Último acceso: 1 Agosto 2010].
- [3] J. R. e. a. Gómez Jose, «www.dnp.gov.co/,» Departamento Nacional de Planeación, 13 abril 2011. [En línea]. Available: <http://www.dnp.gov.co/PND/PND/PND20102014.aspx>. [Último acceso: 10 Octubre 2011].
- [4] J. M. e. a. L Fábrega, «Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica en Telecomunicación,» Instituto de Informática y Aplicaciones, 8 Agosto 2011. [En línea]. Available: <http://www3.euitt.upm.es/taee/Congresosv2/2002/papers/2002S2A04.pdf>. [Último acceso: 9 Septiembre 2011].
- [5] U. d. Q. Universidad del Valle, «Red Nacional de Tecnologías Avanzadas,» 9 Agosto 2010. [En línea]. Available: www.renata.edu.co/index.php/edelectronica-telecomunicaciones-e-informatica.html. [Último acceso: 09 Agosto 2011].
- [6] GENI, «Global Environment for Network Innovation (GENI),» [En línea]. Available: <http://www.geni.net>. [Último acceso: 16 02 2012].
- [7] National Institute of Information and Communications Tecnology (NICT), «JGN2 PLUS,» [En línea]. Available: http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2plus_archive/english/index.html. [Último acceso: 12 2 2012].
- [8] «OpenFlow,» Media wiki and WordPress, 2011. [En línea]. Available: <http://www.openflow.org/wp/learnmore/>. [Último acceso: 8 Septiembre 2011].
- [9] M. e. a. Nick, «OpenFlow: Enabling Innovation In Campus,» *ACM SIGCOMM COMPUTER COMMUNICATION REVIEW*, vol. 38, pp. 69-74, 2 abril 2008.

- [10] G. Greg, «Software Defined Networking Could shake Up More Than Packets,» *IEEE Internet Computing*, pp. 6-9, 2011.
- [11] R. E. W. Nick, *Software System Architecture*, Boston: Pearson Education, inc, 2005, p. 19.
- [12] J. McCABE, *Networks Analysis Architecture and Design*, New York: Morgan Kaufmann Publishers, 2007.

ANEXO 1

Instalación⁶ y configuración de entorno de pruebas con Mininet.

Instalación de máquina virtual es la manera más sencilla de la instalación de MiniNet. En la práctica, la diferencia de velocidad es mínima y la instalación es mucho más simple, puesto que no es necesario volver a compilar el kernel del sistema operativo o reemplazar para añadir soporte de red para espacio de nombres. Para realizar una instalación personalizada, consulte **MininetVMCreationNotes** ó los archivos README / INSTALL de las fuentes MiniNet.

Pasos para una instalación VM:

1. Descargar la imagen de máquina virtual desde MiniNet, disponible en: <https://github.com/downloads/mininet/mininet/mininet-vm-ubuntu11.10-052312.vmware.zip>.

El archivo tiene un tamaño de 800MB-1GB, comprimido. Para descomprimir el archivo: **unzip mininet-vm-ububtu11.10-052312.vmware.zip**.

2. Descargar e instalar el **Virtual Box** (libre, GPL) para Windows o Linux. Disponible en: <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>
3. Es de mucha ayuda suscribirse a la lista de correo-MiniNet <https://mailman.stanford.edu/mailman/listinfo/mininet-discuss>. Esta fuente ofrece ayuda a investigadores.
4. Ejecutar a través de los **MininetVMSetupNotes** para iniciar sesión en la máquina virtual e instalar el código MiniNet en él.
5. Siga el **MininetWalkthrough** para familiarizarse con los comandos de MiniNet y el uso típico.

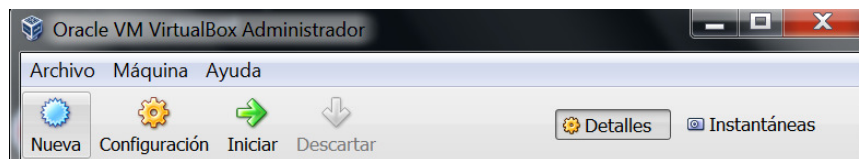
⁶ Todos los documentos referenciados en este anexo se encuentran disponibles en: <http://yuba.stanford.edu/foswiki/bin/view/OpenFlow/MininetDocumentation>

Instalación y configuración del maquina virtual

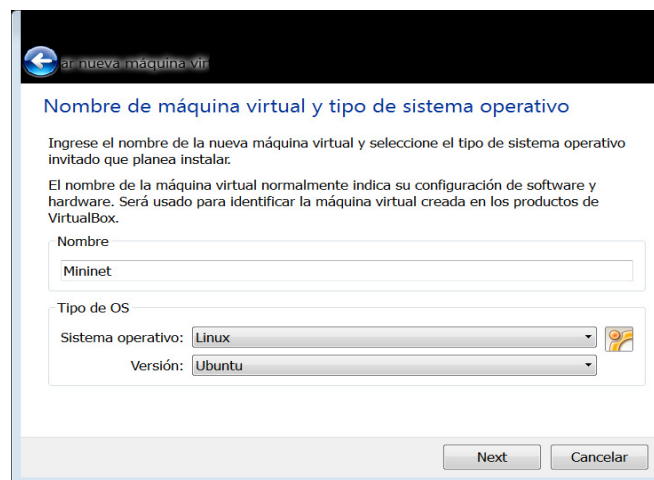
VirtualBox: Crear una nueva máquina virtual usando el archivo **Mininet-VM.vmdk** como la imagen de disco duro y luego inicie el programa.

A continuación se presenta un paso a paso para instalar la máquina virtual de Mininet.

1. Hacer clic en el botón nueva de la barra de herramientas del virtualbox



2. El sistema devuelve una imagen del asistente, se continúa con la instalación dando clic en el botón **Next** de la parte inferior de la ventana.
3. Incluir el nombre de la maquina virtual y el sistema operativo como aparece en el siguiente ejemplo:

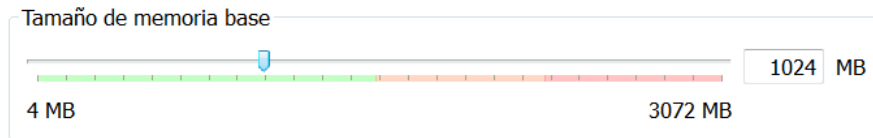


4. Dar clic en el botón **Next**. El paso siguiente consiste en ajustar el tamaño de la memoria, para este laboratorio se asignó 1024 de RAM, el tamaño mínimo es de 512.

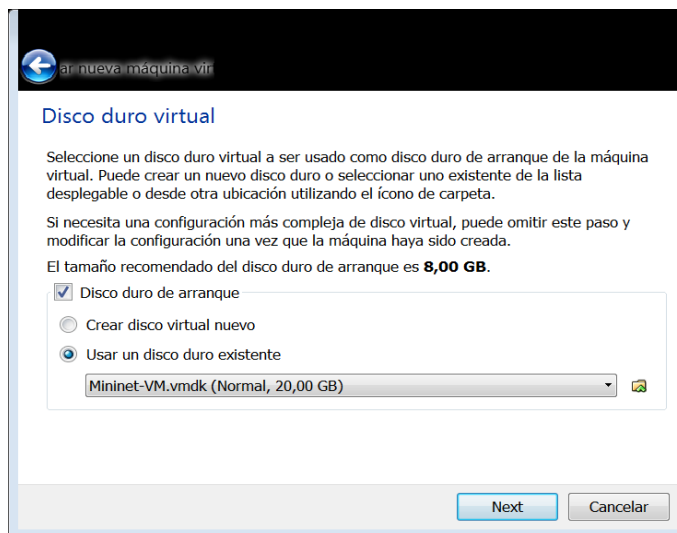
Memoria

Seleccione la cantidad de memoria base (RAM) que será asignada a la máquina virtual.

El tamaño recomendado de memoria base (RAM) es **512 MB**.



5. Dar clic en el botón **Next**. En la ventana seleccionar la opción de **seleccionar un disco duro existente**, ubicamos el archivo **Mininet-VM.vmdk**.



6. seleccionar el botón **Next** y en la siguiente venta el botón **crear**.

