

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**Ingeniera e Ingeniero de Sistemas**

**TEMA:**  
**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA VIDEOCONFERENCIA**  
**PERMITIENDO DIFUSIÓN MULTICAST SOBRE REDES DE ALTA**  
**VELOCIDAD**

**AUTORES:**  
**OLGA VALERIA PAZMIÑO VELASCO**  
**WILLIAM ANDRÉS UQUILLAS MAÑAY**

**TUTOR:**  
**WASHINGTON ARSENIO RAMÍREZ MONTALVAN**

**Quito, febrero del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Olga Valeria Pazmiño Velasco con documento de identificación N° 1204446288 y William Andrés Uquillas Mañay con documento de identificación N° 1721744678, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación con el tema: DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA VIDEOCONFERENCIA PERMITIENDO DIFUSIÓN MULTICAST SOBRE REDES DE ALTA VELOCIDAD, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERA E INGENIERO DE SISTEMAS en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....  
OLGA VALERIA  
PAZMIÑO VELASCO  
C.I.: 1204446288

.....  
WILLIAM ANDRÉS  
UQUILLAS MAÑAY  
C.I.: 1721744678

Quito, febrero del 2019

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, con el tema: DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA VIDEOCONFERENCIA PERMITIENDO DIFUSIÓN MULTICAST SOBRE REDES DE ALTA VELOCIDAD realizado por Olga Valeria Pazmiño Velasco y William Andrés Uquillas Mañay, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019



---

WASHINGTON ARSENIO RAMÍREZ MONTALVAN

C.I.: 1710804681

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de titulación primero a Dios por haberme brindado vida, salud, sabiduría, paciencia, fortaleza y poner en mi camino personas buenas que no dudaban en extender su mano para ayudarme.

A mi familia por su apoyo incondicional, por creer siempre en mí, por enseñarme a ser perseverante y enfrentar los problemas, por alentarme a seguir y no desmayar, por inculcarme buenos valores y no solo pensar en mí sino también en los demás ya que un buen profesional también debe ser un buen ser humano, mi madre Adriana Velasco con sus oraciones y palabras de esperanza, mi padre Pablo Pazmiño con sus consejos y motivación, mi hermano Cristhian Pazmiño con su optimismo y buen humor, mi hijo el amor de mi vida Jheosua Guale con su ternura y paciencia.

A mis verdaderos amigos por su preocupación, ayuda y palabras de aliento.

Olga Valeria Pazmiño Velasco

A mis padres

Todas las metas alcanzadas han sido gracias al apoyo incondicional, dedicación y el amor que me han brindado mis padres durante toda mi vida. Con mi ser lleno de orgullo dedico este proyecto de tesis a mi inspiración a Jorge Uquillas y Lilia Mañay.

A mi mujer

Durante el largo camino te encuentras con una persona que llega a ser esencial en tu vida, que con su apoyo poco a poco te alienta seguir con tus objetivos, con tu amor y tu paciencia me ayudaste a culminar esta meta.

A mis hijos

Lo mejor que la vida te puede brindar, es ver la sonrisa de tus hijos al ver que das ejemplo y cumples tus metas, les dedico este proyecto a ustedes que han sido los que me empujen para seguir adelante y no caer en el abandono.

William Andrés Uquillas Mañay

## **AGRADECIMIENTO**

En el presente proyecto de titulación, agradecemos a Dios por bendecirnos para cumplir esta meta y hacer realidad este sueño.

Expresamos sinceramente nuestro reconocimiento a todos los profesores de educación superior, quienes nos han dado las pautas para nuestra formación profesional, y por ultimo a quienes conforman la comunidad Salesiana, por habernos permitido estar en sus aulas.

Olga Valeria Pazmiño Velasco

William Andrés Uquillas Mañay

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| Antecedentes.....   | 1  |
| Problema .....  | 3  |
| Justificación.....  | 4  |
| Objetivo General.....   | 5  |
| Objetivos Específicos.....                                    | 6  |
| Alcance.....  | 6  |
| Capítulo 1 .....  | 8  |
| Marco teórico.....  | 8  |
| 1.1.Videoconferencia .....                                    | 8  |
| 1.2.Tipos de videoconferencia.....                            | 9  |
| 1.2.1.Videoconferencia web.....                               | 11 |
| 1.3.Métodos de transmisión.....                               | 12 |
| 1.3.1.Enlaces de Comunicación.....                            | 12 |
| 1.3.1.1.Estándares .....                                      | 13 |
| 1.4.Protocolos .....  | 14 |
| 1.5.Códec .....   | 17 |
| 1.6.Sistema computacional y redes de altas prestaciones ..... | 19 |
| 1.7.Trabajos relacionados.....                                | 21 |
| 1.8.Aplicaciones de videoconferencia .....                    | 26 |
| 1.8.1.Jitsi Meet.....   | 26 |
| 1.8.2.BigBlueButton BBB.....                                  | 28 |
| 1.8.2.1.Integraciones activas .....                           | 30 |
| Capítulo 2 .....  | 32 |
| Metodología.....  | 32 |
| 2.1.Experimento 1 (Jitsi Meet) .....                          | 32 |
| 2.1.1.Arquitectura Experimento 1 (Jitsi Meet).....            | 32 |
| 2.1.2.Construcción Experimento 1 (Jitsi Meet).....            | 33 |
| 2.1.3.Conclusiones Experimento 1 (Jitsi Meet).....            | 34 |
| 2.2.Experimento 2 (BigBlueButton BBB) .....                   | 35 |
| 2.2.1.Arquitectura Experimento 2 (BigBlueButton BBB).....     | 36 |
| 2.2.2.Construcción Experimento 2 (BigBlueButton BBB).....     | 38 |
| 2.2.3.Conclusiones Experimento 2 (BigBlueButton BBB).....     | 42 |
| Capítulo 3 .....  | 44 |
| Resultados .....  | 44 |
| 3.1.Experimento 1 (Jitsi Meet) .....                          | 44 |
| 3.2.Experimento 2 (BigBlueButton BBB) .....                   | 45 |
| 3.2.1.Pruebas de tráfico del servidor BBB .....               | 48 |
| 3.2.2.Pruebas de la aplicación BBB.....                       | 65 |
| CONCLUSIONES .....  | 76 |
| RECOMENDACIONES .....   | 77 |
| LISTA DE REFERENCIAS .....                                    | 78 |
| ANEXOS.....   | 82 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Topología de la Red Clara y sus nodos alrededor del mundo .....                                | 20 |
| Figura 2. Arquitectura de Jitsi Meet y sus servicios .....   | 27 |
| Figura 3. Arquitectura de BBB con sus servicios.....   | 29 |
| Figura 4. Arquitectura de Jitsi Meet utilizada en el primer experimento .....                            | 33 |
| Figura 5. Arquitectura de BBB utilizada en el segundo experimento .....                                  | 37 |
| Figura 6. Funcionamiento de la aplicación móvil .....  | 40 |
| Figura 7. Pruebas de conectividad con el servidor Jitsi Meet .....                                       | 45 |
| Figura 8. Pruebas de conectividad con el servidor BigBlueButton .....                                    | 46 |
| Figura 9. Características que brinda BBB .....   | 47 |
| Figura 10. Prueba de conexión del cliente móvil con el servidor BBB. ....                                | 48 |
| Figura 11. Matriz de correlación del tráfico del servidor BBB .....                                      | 49 |
| Figura 12. Latencia de red entre el BBB y el Moodle .....  | 52 |
| Figura 13. Tiempo de respuesta entre el BBB y el Moodle .....  | 53 |
| Figura 14. Comandos para mostrar el porcentaje libre de CPU en el servidor BBB .                         | 54 |
| Figura 15. Comandos para mostrar el consumo de CPU en el servidor BBB.....                               | 55 |
| Figura 16. Porcentaje de consumo de CPU entre el BBB y Moodle .....                                      | 55 |
| Figura 17. Comandos para mostrar el porcentaje libre de RAM en el servidor BBB                           | 56 |
| Figura 18. Porcentaje de consumo de RAM entre el BBB y Moodle.....                                       | 57 |
| Figura 19. Comandos para mostrar el porcentaje libre de HDD en el servidor BBB.                          | 58 |
| Figura 20. Porcentaje de consumo de HDD entre el BBB y el Moodle .....                                   | 58 |
| Figura 21. Latencia de Red entre el BBB y la aplicación móvil .....                                      | 60 |
| Figura 22. Tiempo de Respuesta entre el BBB y la aplicación móvil .....                                  | 61 |
| Figura 23. Porcentaje de consumo de CPU entre el BBB y la aplicación móvil .....                         | 62 |
| Figura 24. Porcentaje de consumo de RAM entre el BBB y la aplicación móvil .....                         | 63 |
| Figura 25. Porcentaje de consumo de HDD entre el BBB y la aplicación móvil.....                          | 64 |
| Figura 26. Matriz de correlación de los procesos dentro del BBB .....                                    | 66 |
| Figura 27. Porcentaje de CPU consumido por el BBB al transmitir video.....                               | 68 |
| Figura 28. Porcentaje de CPU consumido por el BBB al transmitir audio.....                               | 69 |
| Figura 29. Porcentaje de CPU consumido por el BBB al ejecutar las demás<br>características del BBB. .... | 70 |
| Figura 30. Porcentaje de RAM consumida por el BBB al transmitir video.....                               | 71 |
| Figura 31. Porcentaje de RAM consumida por el BBB al transmitir audio.....                               | 73 |
| Figura 32. Porcentaje de RAM consumida por el BBB al ejecutar las demás<br>características. ....         | 74 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Ventajas y Desventajas de la Videoconferencia .....                                | 9  |
| Tabla 2. Cuadro de características de aplicaciones de videoconferencia.....                 | 23 |
| Tabla 3. Cuadro comparativo de aplicaciones de videoconferencia.....                        | 25 |
| Tabla 4. Prerrequisitos de Hardware y software.....   | 32 |
| Tabla 5. Prerrequisitos de Hardware y software del BBB .....                                | 35 |
| Tabla 6. Prerrequisitos de Hardware y software del Moodle .....                             | 35 |
| Tabla 7. Características de clientes móviles.....   | 36 |
| Tabla 8. Características de clientes con PCs portátiles.....                                | 36 |
| Tabla 9. Variables de tráfico con su significado .....                                      | 50 |
| Tabla 10. Latencia y tiempo de respuesta entre el BBB y el Moodle.....                      | 51 |
| Tabla 11. Consumo de CPU entre el BBB y el Moodle .....                                     | 54 |
| Tabla 12. Consumo de RAM entre el BBB y el Moodle .....                                     | 56 |
| Tabla 13. Consumo de HDD entre el BBB y el Moodle.....                                      | 58 |
| Tabla 14. Latencia de red y tiempo de respuesta entre el BBB y la aplicación móvil<br>..... | 60 |
| Tabla 15. Consumo de CPU entre el BBB y la aplicación móvil.....                            | 61 |
| Tabla 16. Consumo de RAM entre el BBB y la aplicación móvil .....                           | 63 |
| Tabla 17. Consumo de HDD entre el BBB y la aplicación móvil.....                            | 64 |
| Tabla 18. Variables de la aplicación y su significado.....                                  | 66 |
| Tabla 19. Procesos del BBB.....   | 67 |
| Tabla 20. Consumo de CPU por el BBB al transmitir video. ....                               | 67 |
| Tabla 21. Consumo de CPU por el BBB al transmitir audio. ....                               | 69 |
| Tabla 22. Consumo de CPU por el BBB al editar una presentación. ....                        | 70 |
| Tabla 23. Consumo de RAM por el BBB al transmitir video. ....                               | 71 |
| Tabla 24. Consumo de RAM por el BBB al transmitir audio .....                               | 72 |
| Tabla 25. Consumo de RAM por el BBB al editar una presentación. ....                        | 74 |

## **Resumen**

Debido a los inconvenientes que puede acarrear una videoconferencia de baja calidad y en ocasiones gastos innecesarios en licencias o equipos dedicados para iniciar comunicación de audio y video, se han ido creando tecnologías open source que permiten la optimización de recursos económicos.

El presente proyecto de titulación tiene como finalidad el diseño de un prototipo de sistema de videoconferencia basado en plataforma open source y que proporcione difusión multicast aprovechando las ventajas que posee esta nueva tecnología de comunicación.

El proceso empezó con la recopilación de información para seleccionar la aplicación de videoconferencia que reúna todos los requisitos necesarios para cumplir con el objetivo del proyecto, posterior al análisis se obtuvo dos aplicaciones que cumplieron con todos los ítems valorados en la tabla comparativa, luego de verificar los requerimientos mínimos se instaló y se procedió a realizar las debidas pruebas del primer experimento.

Los resultados fueron negativos ya que no cumplió con nuestras expectativas, por lo cual iniciamos el segundo experimento el mismo que fue exitoso y se pudo completar el proceso.

Las pruebas fueron monitoreadas para posteriormente ser analizadas y graficadas en una herramienta open source. Estas gráficas muestran el consumo de tráfico y de los procesos al transmitir video, audio y chat con un número determinado de usuarios.

## **Abstract**

Due to the problems a low quality conference can carry and sometimes the unnecessary expenses in licenses or equipment used to start audio and video communication open source technologies have been created to let economic resources optimization.

The following titling project aims the prototype videoconference system design which is based in the Open Source platform and to provide multicast diffusion taking advantage the benefits this new communication technology has.

The process started gathering information to select the videoconference application which meets all the necessary requirements to fulfill the project's objective, after the analysis two applications were obtained with all items valued in the comparative table, after verifying all the minimal requirements the application was installed and the necessary tests in the first experiment were done.

The results were negative because this application did not fulfill our expectations that's why we started the second experiment which was successful and the process could be completed.

The tests were monitored, analyzed later and graphed in the Open Source tool. These graphics show the traffic consume and processes to transmit video, audio and chat with a determined number of users.

## INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes**

El primer prototipo para videoconferencia denominado videoteléfono funcionaba con una técnica cercana a la de la televisión, presentado por AT&T (American Telephone and Telegraph) entre 1933 y 1934. Después de 1945, las investigaciones se apoyan de nuevas técnicas utilizando: transmisores, cámaras menos voluminosas y receptores más manipulables, todo esto gracias a la mejora de los tubos catódicos (Carroll, 1999), (Goldstein, 2017). En 1959 AT&T decide comercializar el “Picture Phone” destinado para video llamadas, siendo este el antecesor de lo que hoy se conoce como Skype y Facetime (Omicrono, 2016); el servicio se inició en 1964 en New York, Washington DC y Chicago donde la primera dama de E.E.U.U. efectuó una llamada de diez minutos como tiempo máximo de comunicación en esa época. Así mismo AT&T en sus primeros intentos de comunicación habilitó 6 cabinas de video entre la Feria Mundial de New York y Disney Land California. El video transmitido era en blanco y negro a 30 cuadros por segundo los cuales indicaban la velocidad de un dispositivo para producir imágenes consecutivas, esta velocidad era utilizada en transmisión de televisión (Carroll, 1999), (Goldstein, 2017).

Cada vez es más difícil ignorar que la tecnología está cambiando a las instituciones, tanto así, que solo las que deciden incluirse en estos cambios logran competitividad; la movilidad otorgada por estos avances tecnológicos incrementa las ganancias en los negocios, así mismo, mejora la predisposición para trabajar de sus colaboradores. La videoconferencia se posiciona cada vez más como una solución para intercambiar conocimientos, brindar una experiencia grupal con mayor interacción y lograr más productividad (Carrasco, 2014). Según una encuesta realizada por Wainhouse

Research (firma de investigación de mercado independiente) a beneficiarios sobre la videoconferencia, se argumentó que la misma está siendo aprovechada con mayor regularidad en una semana; hay que mencionar, además que los norteamericanos, específicamente Estadounidenses son los que se han destacado entre los usuarios que más utilizan este método de comunicación, siendo implementada mayoritariamente en establecimientos con un número de colaboradores de entre 1000 y 10000; se debe agregar que la industria más destacada es la educación tanto pública como privada y en cuanto a dispositivos más empleados se mencionan PCs de escritorio y laptops. Los encuestados indicaron que realizaban reuniones y capacitaciones mediante la videoconferencia, la misma que les ha permitido mejorar la eficacia y productividad de sus negocios (Weinstein & Nilssen, 2013).

La videoconferencia es un área de gran interés dentro del campo de la tecnología ya que enlaza puntos distantes entre sí, sustituyendo la presencia física; otorga comunicación en tiempo real a través de transmisión de audio, video y datos, reduciendo costos y tiempo; un aspecto clave de la videoconferencia es su aporte como medio de capacitación y actualización, haciendo posible comunicarse e intercambiar información con universidades, establecimientos de salud y empresas nacionales e internacionales (Carrasco, 2014). En los últimos años ha aumentado el interés por la comunicación en tiempo real entre personas situadas a kilómetros de distancia, siendo hoy posible mediante la videoconferencia; lo que en años pasados parecía ciencia ficción ahora está masificándose debido a la reducción de limitaciones que en épocas anteriores se dieron con la tecnología utilizada. Tal como sucedió con el correo postal, el teléfono y el correo electrónico, en la actualidad aún nos encontramos en la evolución del servicio de videoconferencia (Gerencia, 2005).

Los primeros intentos para introducir a la videoconferencia y tomarla como un medio de comunicación sencillo de utilizar y eficiente, fracasaron. Un gran inconveniente era el costo elevado, una llamada de tres minutos *entre New York y Washington DC era 16 USD (118 USD de hoy ajustando a la inflación)*; también se realizaban llamadas *entre New York y Chicago donde el precio era 27 USD (200 USD de hoy ajustando a la inflación)*. En los inicios de la computación los equipos que existían eran muy grandes y ocupaban demasiado espacio físico por lo cual se instalaban en sitios exclusivos. Una videoconferencia solo era posible con hardware sofisticado y costoso, y solo podía ser adquirido por compañías con grandes presupuestos y salas de conferencias especializadas. Otra restricción importante en la videoconferencia era la conexión a internet, ya que con una mala conexión existían diálogos irregulares con visión borrosa dando como resultado una comunicación deficiente. La videoconferencia no se podía implementar para medicina, educación a distancia ni reuniones de negocios. Se recurría a la red telefónica normal para transmitir video por lo cual poseía técnicas ineficientes de compresión de video y la calidad de imagen era mala. La seguridad para una videoconferencia se basaba en protocolos de cifrado de 128 bits hasta 256 bits resultando obsoletos lo cual proporcionaba una comunicación insegura (Cortes, 2010).

### **Problema**

Hoy en día las grandes empresas han adquirido equipo especializado ubicado en salas audiovisuales para lograr una videoconferencia de alta calidad y poder concretar sus negocios. Una gran preocupación en las compañías al momento de hablar de software es la licencia, su deseo es obtener un buen producto fácil de manipular, que satisfaga

sus necesidades y al mismo tiempo otorgue mucha seguridad, por lo cual terminan pagando cuantiosos costos por programas licenciados. Al realizar una videoconferencia es imprescindible que las personas con las que nos comunicamos nos escuchen y nos vean de manera nítida sin interrupciones y en tiempo real, esto se logra con una buena conexión a internet, por lo cual las instituciones contratan paquetes de internet de banda ancha que proporcionen mayor velocidad. La idea de videoconferencia no es solo para comunicación entre 2 personas sino poder realizarlo con grupos de personas, por esta razón las entidades pagan por herramientas que proporcionen difusión multicast. Estas adquisiciones acarrear grandes costos, los cuales muchas instituciones no están dispuestas a cubrir; como opción se inclinan por no utilizar videoconferencia o tal vez obtener equipos baratos, internet de baja velocidad o licencias piratas dando como resultado videoconferencia de baja resolución, con poca transferencia, grandes problemas sin opción de corregirlos y con un número bajo de conexión de usuarios.

### **Justificación**

Gracias a los avances tecnológicos en los últimos años, las comunicaciones se han transformado permitiendo que personas de todo el mundo logren acceder a plataformas de videoconferencia basadas en hardware y software posibilitando acortar distancias para establecer comunicación con sonido e imagen, incluso intercambiar archivos de texto y multimedia. Actualmente la mayoría de entidades utilizan videoconferencias para: servicio a clientes, educación a distancia, reunión de ejecutivos, declaraciones ante la corte, diagnósticos médicos, negociaciones, entrevistas, supervisión, capacitación, soporte inmediato. Para este proyecto técnico se ha propuesto analizar y construir una arquitectura prototipo de sistema de videoconferencia en una plataforma

open source, para realizar videoconferencia a bajos costos sin dejar de lado la seguridad puesto que existen personas en la Web dispuestas a encontrar y corregir vulnerabilidades. A su vez, se va a permitir comunicación multicast utilizando la red de alta velocidad, con la cual se podrá desarrollar proyectos colaborativos; además se brindará una plataforma de pruebas para desarrollar nuevas tecnologías informáticas, como aprendizaje y laboratorios virtuales, videoconferencias de alta definición, Streaming (presentación de eventos en tiempo real). Se obtendrá virtualmente conocimientos de expertos ubicados en cualquier parte del mundo donde exista una red participante, potenciando la asociación con instituciones o grupos de investigación incrementando el nivel de estudio. Ya que ha evolucionado el vídeo digital y equipos tecnológicos, será posible enviar información desde un computador doméstico a través de redes digitales, sin necesidad de equipos robustos o ambientes específicos; así mismo, estará al alcance videoconferencia de excelente calidad debido a la mejora del acceso a internet de banda ancha de alta velocidad, redes Wi-Fi y 4G (Marcello, 2014). Los problemas ocasionados en el pasado sirvieron de base para ahora crear un sistema interactivo permitiendo a varios usuarios mantener una conversación virtual por medio de transmisión en tiempo real de video, sonido y texto a través de una red (Cortes, 2010). La videoconferencia posee cualidades que la hacen el segmento de mayor crecimiento en las telecomunicaciones aplicando en diversas áreas como: educativa, medicinal, empresarial, jurídica, entre otras (Marcello, 2014).

### **Objetivo General**

Diseñar un prototipo de servicio para videoconferencia basado en una plataforma open source que permita crear una comunicación multicast utilizando una red avanzada.

## **Objetivos Específicos**

Realizar un análisis para seleccionar la aplicación idónea para videoconferencia multicast basada en open source sobre redes de alta velocidad.

Diseñar una arquitectura prototipo para videoconferencia utilizando cada uno de los componentes propios de la aplicación seleccionada como mejor alternativa.

Instalar y configurar el conjunto de herramientas óptimas en una infraestructura de pruebas habilitada para videoconferencia.

Habilitar la integración del prototipo del sistema de videoconferencia con una herramienta open source.

Realizar pruebas de funcionamiento de videoconferencia multicast en un ambiente controlado.

## **Alcance**

Se realizará un estudio comparativo de las herramientas open source de mayor demanda en videoconferencia para comunicación unicast y multicast. Estas herramientas deberían cumplir con las mejores características para difusión multicast utilizando recursos de red avanzada y que logren cubrir las necesidades de comunicación de personas dispersas geográficamente.

Utilizando el esquema de la arquitectura básica, diseñar un prototipo de sistema de videoconferencia similar a como trabaja en ambientes de producción cumpliendo con requisitos mínimos de hardware aprovechando software open source.

Se procederá a levantar del prototipo de la arquitectura propuesta beneficiándonos de códecs y protocolos pre-establecidos para el sistema de videoconferencia multicast sobre plataforma open source; prototipo que se va a configurar con las características mínimas para su ejecución utilizando el hipervisor VMWare.

Se integrará el sistema de videoconferencia propuesto con una herramienta open source y se habilitará en el servidor/cliente software adicional tales como agentes y/o plugins.

Finalmente se efectuarán pruebas de comunicación (audio, video, datos) en la arquitectura prototipo, en donde se verificará el estado de cada uno de los componentes del sistema de videoconferencia; además se establecerán sesiones en modo de transmisión multicast entre los usuarios conectados al sistema a través de la red avanzada de comunicación; así mismo, se utilizarán herramientas que nos permitan medir el consumo de los recursos en el servidor de videoconferencia, en los equipos de los usuarios y en el canal utilizado.

## **Capítulo 1**

### **Marco teórico**

En los últimos años la videoconferencia se ha desarrollado proporcionando muchas posibilidades de comunicación para diversas áreas sin limitaciones por la ubicación geográfica. . La popularidad de un sistema de videoconferencia ha permitido que esté accesible a los usuarios ya que demanda pocos requisitos en cuanto a hardware y software para su implementación. Las organizaciones que han optado por usar videoconferencia han visto muy buenos resultados, tales como, aceleración en la comunicación y ahorro de recursos monetarios y tiempo (Jaramillo Ojeda, 2011).

#### **1.1.Videoconferencia**

La videoconferencia es una herramienta de comunicación de envío y recepción simultánea en tiempo real (sincrónica) que se realiza a través de una red de telecomunicaciones permitiendo una reunión virtual; por este medio se concede una interacción entre dos o más sitios separados para intercambiar video, audio y datos con la colaboración de todos los participantes. Algunos de los tipos de conexiones para efectuar la videoconferencia son ISDN (línea privada, línea telefónica digital) e Internet (Feditic, 2012). En una videoconferencia los participantes pueden escucharse, verse e interactuar en tiempo real incrementando las expectativas de la comunicación por teléfono donde solo se pueden escuchar.

Empleando un micrófono y una cámara se transmite información a través de la voz y video (Universidad de Alicante, 2013). Podemos encontrar disponible dos tipos de servicios para videoconferencia: i) Aplicaciones con licencia como: WebEx, Huddle, Fuze Meeting (Quiñonez, 2012), 3CX WebMeeting (Farmer, 2015), Polycom. ii)

Aplicaciones de código abierto como: OpenMeetings, Isabel, Jitsi Meet, BigBlueButton, ACESS Grid.

En la Tabla 1 se describe los beneficios que ha proporcionado la implementación de la videoconferencia en instituciones de diversas áreas, así mismo, se presentan las limitaciones y problemas que han surgido con esta nueva forma de comunicación.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de la Videoconferencia

| VENTAJAS   | DESVENTAJAS  |
|--|--|
| Permite trabajar desde casa, realizar transacciones comerciales nacionales y/o internacionales colaborar y socializar con los demás.   | No puede sustituir el contacto humano de una conversación ni observar a detalle el lenguaje corporal de los individuos.                          |
| Facilita la reunión de personas situadas en diferentes sitios geográficos, para compartir información y solucionar problemas.          | Utilizar e implementar el hardware y software de videoconferencia puede ser un poco tedioso debido a la curva de aprendizaje.                    |
| Las empresas se evitan gastos de viajes y estadía así mismo pérdidas de tiempo, concretando sus negocios dentro de su establecimiento. | Se derivarían costos adicionales con la contratación de especialistas para ejecutar la instalación de equipos y capacitación de administradores. |
| Los estudiantes pueden ser apoyados con conocimientos extranjeros y los maestros impartir sus clases desde cualquier lugar.            | Los usuarios perderían interés al experimentar problemas de audio y video utilizando equipo inadecuado y mala conexión de red.                   |
| Se puede hacer declaraciones en casos judiciales, realizar audiencias y sentencias sin acudir a los establecimientos pertinentes.      | Mientras más características se desean en una videoconferencia será necesario inclinarse por hardware y software más costosos.                   |
| Los médicos pueden examinar a sus pacientes, proporcionar diagnósticos y ser observadores de cirugías en lugares remotos.              | La videoconferencia con software gratuito satisface las necesidades de comunicación personal pero no la de las grandes empresas.                 |

Nota: Esta tabla contiene los beneficios y problemas que surgen al implementar y utilizar una videoconferencia.

Fuente: (Broadmoor, 2018), (Escamilla, 2008), (Chacon Medina, 2003).

## 1.2. Tipos de videoconferencia

Los tipos de videoconferencia están organizados de acuerdo a:

- El tipo de equipo con el que se realiza la videoconferencia: a) *Sistemas de escritorio*, con un computador personal, dos personas o grupos pequeños de cuatro máximo se comunican transmitiendo señales de audio, video y archivos. b) *Sistemas de sobremesa*, grupos medianos de cuatro a doce personas intercambian

información de audio video y archivos situados alrededor de una mesa. c) *Sistemas de sala*, es una multi-videoconferencia en la cual participan un gran número de personas transmitiendo audio, video y archivos (Chacon Medina, 2003). En este sistema los participantes se encuentran en una sala equipada con los equipos necesarios para realizar videoconferencia, los asistentes serán de acuerdo al espacio de la sala (cavsi, 2012).

- El Número de sitios enlazados: a) *Punto a Punto*, en el cual intervienen dos sitios y no se precisa de equipo adicional. b) *Multipunto*, donde intervienen más de dos sitios y es imprescindible contar con un equipo que haga de unidad central como es la Unidad de Control Multipunto (MCU) (Universidad de Alicante, 2013). MCU es un equipo que conecta múltiples sistemas de videoconferencia en una misma conferencia (Chacon Medina, 2003).
- La tecnología que se utilice: a) *ATM*, permite muy buena calidad, es similar a la ofrecida por la televisión digital. b) *RDSI*, utiliza la red telefónica RDSI, no recurre al internet. c) *H.323*, los usuarios finales utilizan esta tecnología. d) *MBone*, es un sistema sobre red IP Multicast, solo se puede utilizar cuando se está conectado a dicha red (cavsi, 2012).
- El tipo de participación de los asistentes: a) *Abierta*, los asistentes intervienen en la videoconferencia libremente. b) *Cerrada*, los participantes no intervienen libremente, existen algunas restricciones para poder hacerlo impuestas por los organizadores de la videoconferencia (cavsi, 2012).
- Además de los tipos de videoconferencia mencionados anteriormente está: a) *videoconferencia web*, la cual se realiza a través de los navegadores de internet. b) *videoconferencia con software*, la misma que necesita instalar un programa

específico según la aplicación que el cliente haya seleccionado para iniciar la comunicación.

### **1.2.1.Videoconferencia web**

En sus inicios para que una videoconferencia web se desarrolle utilizando los equipos de los usuarios y a través del navegador de internet, era necesaria la instalación de plugins, esto generaba que existan incompatibilidades con algunos navegadores. La tecnología más utilizada era Adobe Connect, ya que permite a los usuarios realizar llamados a procedimientos remotos (RPC) a la aplicación del servidor de videoconferencia y al mismo tiempo se puede llamar a métodos en los equipos de los clientes (Cáceres, 2004).

Con el paso del tiempo, aparece una nueva tecnología WebRTC Web Real-Time Communication (Comunicación Web en Tiempo Real); se trata de una API que permite a las aplicaciones: llamadas de voz, chat de video y compartimiento de archivos entre navegadores dejando a un lado los complementos patentados como Adobe Connect; hay que mencionar además que usa el códec V8 y un servidor de conferencias Web teniendo como punto sobresaliente que no necesita instalación de plugins. En cuanto a navegadores es soportado por: *PC (Google Chrome hasta v57, Mozilla Firefox v53, Opera v12), Android (Google Chrome v28, Mozilla Firefox v24, Opera Mobile v12) y Google Chrome OS*. Es necesario recalcar que WebRTC funciona sobre UDP y considerando que ésta no admite control de congestión de la red se ha inclinado por utilizar el algoritmo GCC Google Congestion Control (Control de Congestión de Google); el propósito de GCC en una videoconferencia es cambiar la

tasa de datos en función de la pérdida de paquetes y la latencia medida tanto en el emisor como en el receptor (Jansen, 2016, pp. 5-13).

### **1.3.Métodos de transmisión**

Una LAN (Local Area Network - Red de Área local) que funciona bajo IPv4 posee tres métodos de transmisión de datos: *Unicast*, una trama es enviada desde una única interfaz de salida a una única interfaz de destino, es decir, transmisión uno-a-uno (one to one). *Multicast*, envía desde una interfaz de salida a un grupo específico de interfaces de destino simultáneamente, *Broadcast*, difunde la información de forma simultánea a todos los nodos de red (Martinez, 2016). Con la aparición de las distintas formas y tipos de videoconferencia se generó una normalización para mantener un control, inicialmente con la creación de protocolos, los mismos que permitieron la generación de códecs de audio y video.

#### **1.3.1.Enlaces de Comunicación**

El enlace de comunicación es sumamente importante al establecer una videoconferencia ya que mientras mayor sea el ancho de banda, mejor será la calidad de la misma, esto se maneja a través de normas definidas por la ITU (International Telecommunication Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones). El enlace o conexión establecida al realizar una videoconferencia puede hacerse a través de fibra óptica, satélite, cable de cobre, etc., con velocidad desde 64Kbps hasta 2Mbps. La condición de la transmisión depende de los protocolos empleados y la manera en que estos manipularan la información. Para transmitir la información, esta se comprime en el equipo origen, viajan por el enlace establecido y se descomprimen en el equipo destino, todo esto con el uso de códecs. Los tipos de enlace que se encuentra son: a)

*Punto a Punto* – Desktop, b) *Punto a Punto* – Uno a Grupo, c) *Punto a punto* – grupo a grupo, d) *Multipunto*, dos o más sedes enlazadas (Chacon Medina, 2003).

### **1.3.1.1. Estándares**

La ITU para optimizar un sistema de videoconferencia ha definido estándares, teniendo en cuenta el tipo de red y velocidad. El primer estándar para videoconferencia que apareció fue el H.320, luego surgieron H.321, H.322, H.323, H.324 Y H.310.

- a) *Estándar H.320*: proporciona conceptos de audio y video, aún está vigente ya que permite videoconferencias con diferentes niveles de calidad, especifica normas para videoconferencia punto a punto y multipunto en RDSI - Redes Digitales de Servicios Integrados (ISDN - Integrated Services Digital Network).
- b) *Estándar H.321*: Es una modificación del estándar H.320, esta implementado sobre ATM por eso es más fácil de utilizar y menos costosa con buena calidad.
- c) *Estándar H.322*: Ofrece QoS (Calidad de servicio), es utilizado sobre redes LAN, fue el primero en ser colocado en la norma IEEE 802.9 (especificación de redes digitales que incluyen video).
- d) *Estándar H.323*: establece videoconferencias sobre redes Ethernet, Token Ring, FDDI, utiliza el protocolo TCP/IP, no garantiza QoS, no se recomienda para empresas.
- e) *Estándar H.324*: se establece como guía para el transporte de la videoconferencia a través de red telefónica POTS, optimiza la calidad de transmisión sobre los enlaces de baja velocidad relacionados con POTS.
- f) *Estándar H.310*: permite implementar videoconferencia MPEG-2 (normas para audio y video para difusión de calidad de televisión) sobre ATM, usada en

medicina y educación ya que ofrece muy alta calidad de video (Jaramillo Ojeda, 2011).

#### **1.4. Protocolos**

Un protocolo en videoconferencia sirve para planificación y organización antes, durante y después de la misma, detallan las reglas para su uso, así como secuencia, tiempos y responsables de las diferentes actividades. Existen protocolos de red para transmisión de multimedia los cuales se encargan de proporcionar calidad de servicio, los cuales se describen a continuación:

- a) *Protocolo RTP: Real-Time Transport Protocol (Protocolo de transporte en tiempo real)*, está ubicado en la capa aplicación se utiliza con el protocolo UDP, proporciona funciones para redes unicast o multicast de extremo a extremo, adecuadas para aplicaciones que transmiten datos en tiempo real como audio, video o datos. Se ha planeado para multimedia, pero también se puede asignar para resguardo de datos continuos, simulaciones distribuidas e interactivas o aplicaciones de control. Permite identificar el tipo de información transportada, añadir marcadores temporales para indicar el momento de emisión del paquete de esta manera el destino sincronizara los flujos para pedir retardos y fluctuación; le proporciona números de secuencia a la información transportada para la detección de pérdida de paquetes y entregar al destino. RTP puede ser transportado por paquetes multicast para encaminar conversaciones a múltiples destinos; no realiza reservas de recursos o controlar QoS, ni asegura la entrega de paquetes (Schulzrinne, Casner, Frederick, & Jacobson, 2003).
- b) *Protocolo SRTP: Secure Real-Time Transport Protocol (Protocolo Seguro de transporte en tiempo real)*, es una extensión del protocolo RTP que tiene como

característica seguridad mejorada. Este protocolo fue desarrollado por Cisco y Ericsson y fue publicado en el año 2004 por el Grupo de trabajo de ingeniería de internet (IETF), utiliza el algoritmo de cifrado AES y el algoritmo de autenticación de código de mensajes (HMAC) para minimizar los inconvenientes que pueden ser causados por ataques de denegación de servicio, mejorando las comunicaciones como la telefonía por Internet y la videoconferencia (Baugher, 2004).

c) *Protocolo RTMP: Real-Time Messaging Protocol (Protocolo de mensajería en tiempo real)*, este protocolo sirve para la transmisión de audio, video y datos a velocidades rápidas entre un cliente y servidor que utilicen flash, este protocolo es protocolo es de propiedad de Adobe y utiliza variaciones para uso de cifrado entre ellas esta: RTMPS utiliza conexiones TLS/SSL, RTMPE cifrado con mecanismos de seguridad de Adobe, y RTMPT encapsula solicitudes HTTP para atravesar firewalls. Debido a sus ventajas de reducir latencia principalmente al momento de transmitir audio y video permite el ahorro del ancho de banda (Čandrlić, 2014).

d) *Protocolo RTCP: Real-Time Control Protocol (Protocolo de control en tiempo real)*, al igual que RTP está ubicado en el nivel aplicación utilizando UDP como protocolo de transporte, tanto en modo Unicast como Multicast; trabaja en conjunto con RTP, en una sesión RTP los participantes envían periódicamente paquetes RTCP con información referente a la calidad de los datos recibidos, además controla los flujos RTP. Los paquetes RTCP son enviados alrededor de cada cinco segundos, y con datos para verificar las condiciones de transmisión en el extremo remoto.

Los protocolos RTCP y RTP se emplean principalmente para realizar una videoconferencia, en la cual los asistentes son a su turno, emisores o receptores. RTP Y RTCP no tienen un número puerto fijo, pero usan la siguiente regla: RTP

número par y RTCP el siguiente número (impar) (Schulzrinne, Casner, Frederick, & Jacobson, 2003).

- e) *Protocolo RTSP: Real-Time Streaming Protocol (Protocolo de transmisión en tiempo real)*, está en la capa de aplicación, ofrece un entorno para el despacho de datos en tiempo real solicitado bajo demanda como audio y video, puede funcionar sobre UDP, UDP multicast y TCP. Este protocolo ofrece servicios similares para audio y video que HTTP hace para texto y gráficos y ha sido diseñado para tener sintaxis y operaciones similares; el servidor asigna el contenido multimedia, los clientes reclaman datos al servidor y RTSP se comporta como un mando a distancia entre un cliente y el servidor (Suárez Alonso, 2010 - 2011, págs. 36-37). Una diferencia es que el protocolo HTTP es sin estados mientras que RTSP debe mantener los estados de las sesiones para hacer coincidir pedidos y flujos. Otra diferencia es que HTTP es un protocolo asimétrico, el cliente hace peticiones y el servidor responde, mientras que en RTSP ambos hacen peticiones (Suárez Alonso, 2010 - 2011, pág. 38).
- f) *Protocolo SIP Session Initiation Protocol (Protocolo de inicio de sesión)*, se usa para comunicaciones en vivo, es utilizado en la configuración de llamadas de voz o video. Es un protocolo de señalización destinado para crear, modificar y terminar conferencias con uno o más participantes de una red IP (Znaty, Dauphin, & Geldwerth, 2005, pág. 1). Este protocolo actúa de forma transparente, permitiendo el mapeo de nombres y la redirección de servicios ofreciendo la implementación de la IN (Intelligent Network – Red Inteligente) de la PSTN (Public Switched Telephone Network – Red Telefónica Conmutada). SIP en una IN provee localización de usuarios (suministra soporte para la movilidad), capacidades de usuario (admite la negociación de parámetros), accesibilidad del usuario,

establecimiento y conservación de una sesión. SIP realiza control de llamadas sin estado (stateless) y provee escalabilidad entre los dispositivos telefónicos y los servidores; disminuye los ciclos de CPU para producir mensajes de señalización originando que el servidor pueda operar más transacciones (Rosenberg, 2002).

De acuerdo a las evidencias presentadas es importante que tomemos en cuenta los protocolos antes mencionados ya que puede ayudar a mejorar y optimizar una sesión de videoconferencia, sin dejar pasar por alto que SIP permitiría establecer un servicio de comunicación flexible y abre las posibilidades de integrarse con aplicaciones comerciales y ofreciendo una mejor experiencia al usuario final.

### **1.5.Códec**

Un códec es un programa y/o dispositivo apto para realizar tareas de codificación y decodificación de un flujo de datos digitales. Los códecs sincronizan datos de audio y/o vídeo, los cuales son usados a menudo en videoconferencias y emisiones de medios de comunicación. Los tipos de códecs son, códecs de audio, códecs de video, códecs de imagen y códecs de datos los cuales se describen a continuación:

- **Códecs de Audio**

a) *Sin pérdidas*: RealAudio Lossless, WMA lossless (Windows Media Audio Lossless), ALAC (Apple Lossless), DST (Direct Stream Transfer), LTAC (Lossless Transform Audio Codec), FLAC (Free Lossless Audio Codec), LA (Lossless Audio), LTAC (Lossless Transform Audio Codec), MLP (Meridial Lossless Packing), Monkey's Audio (APE), MPEG-4 SLS, MPEG-4 ALS, OptimFROG, QDesign, RealAudio Lossless, LPAC (Lossless Predictive Audio Codec), RKAU, Shorten (SHN), TTA (True Audio), WavPack.

b) *Con pérdidas*: WMA (Windows Media Audio), AAC (Advanced Audio Coding), HE-AAC (High Efficiency Advance Audio Coding), AC3 (Dolby Digital A/52), RTA (Real Time Audio Codec), ADPCM, ADX (videojuegos), TwinVQ, Musepack, Ogg Vorbis, ATRAC (Adaptive TRansform Acoustic Coding), DRA, DTS (Digital Theater Systems), MP1 (MPEG audio layer-1), MP2 (MPEG audio layer-2), MP3 (MPEG audio layer-3), mp3PRO, Musepack, Ogg Vorbis, Opus, Perceptual Audio Coding, Siren.

c) *Códex de Voz*: AMR, CELT, EVRC, G.711, G.723, G.728, G.729, GSM, G.726, HILN (MPEG-4 paramétrico), CELP, iLBC, IMBE, Perceptual Audio Coding (radio digital y satélite), AMBE, Speex, SMV, QCELP, G.722, VSELP (Jaramillo Ojeda, 2011).

- **Códex de Video**

MPEG-1, Theora, MPEG-4, MPEG-4/AVC, H.262, H.263, H.264, SMPTE: VC-1, AVS, Dirac, Indeo, MJPEG, MPEG-2, RealVideo, VP7, WMV, H.261, DiVx. (Marilin, 2012).

- **Códex de Imagen**

JBIG2; JPEG; JPEG-LS; JBIG; DICOM; BMP; GIF; ILBM; PNG; TGA; TIFF; WMP; JPG2000; PCX. (Tecnología e Informática, 2016).

**Códec de Datos**

T.120 (Jaramillo Ojeda, 2011).

## **1.6.Sistema computacional y redes de altas prestaciones**

El Computador es un dispositivo electrónico que se compone de procesador, memoria y dispositivos de I/O (In/Out – Entrada / Salida), aquí se produce el "ciclo del procesamiento de la información", el cual consta de entrada, procesamiento, salida y almacenamiento de datos; consta de un segmento físico (hardware) y un segmento lógico (software) el cual viabiliza la interacción con las aplicaciones que se ejecutan en el computador. (Alonso, Gutiérrez, López, & Torrecilla, 1998). Existe una multitud de aplicaciones informáticas que requieren resultados en un tiempo razonable, para enfrentarse a esta limitación de tiempo, la solución más adoptada sería soportar estas aplicaciones en potentes sistemas de multiprocesadores o multicomputadores (Casado, 1999, pág. 45).

Las redes de computadoras hoy en día constituyen una fusión de técnicas, sistemas de comunicación y dispositivos, que han ido actualizándose desde finales del siglo XIX, o desde la invención del teléfono; de ahí parte el Internet, redes locales, telefonía móvil, enlaces a larga distancia con conexiones transoceánicas o satelitales, etc. (Íñigo & Barceló, 2008, pág. 13). Una red de computadores permite que todo el Software y Hardware esté disponible para cualquiera en la red permitiendo la convergencia de tecnologías de comunicación tales como email, voz, video y telefonía (Ríos, 2010).

Las redes académicas de alta velocidad y tecnología avanzada, son redes de computadoras creadas para el desarrollo de investigaciones las cuales se conectan a través de ISP (Internet Service Provider - Proveedores de servicio de internet) (Universidad de Medellin, 2015). Un ejemplo de una red de alta velocidad utilizada para fines educativos en Ecuador es la red CEDIA; está formada por un anillo de fibra

óptica de última generación, con capacidad de 100 Gbps (400.000 veces más rápido que el Internet comercial) para miembros en el país, garantizando calidad (Cedia, 2017). Red CEDIA es parte de Red CLARA (Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas) la misma que es responsable de la implementación y manejo de la infraestructura de red que interconecta a las NREN (National Research and Education Networks - Redes Nacionales de Investigación y Educación) de América Latina. Muchos proyectos que carecían de infraestructura adecuada para sustentar los procesos de comunicación y colaboración han avanzado gracias a la conexión de Universidades y centros de investigación con la Red CLARA (Ramirez, 2008).



Figura 1. Topología de la Red Clara y sus nodos alrededor del mundo  
Fuente: (RedClara, 2018).

En la Figura 1 se observan los países que cuentan con la Red CLARA hasta el 2017 como son: UK (Reino Unido), BR (Brasil), UY (Uruguay), AR (Argentina), CL (Chile), PY (Paraguay), BO (Bolivia), PE (Perú), EC (Ecuador), CO (Colombia), VE (Venezuela), PA (Panamá), HN (Honduras), CR (Costa Rica), NI (Nicaragua), SV (El Salvador), GT (Guatemala), MX (México), US (Estados Unidos), CU (Cuba).

### **1.7.Trabajos relacionados**

GIST (Gwangju Institute of Science and Technology - Instituto de Ciencias y Tecnología de “Gwangju”) de Corea del Sur ha implementado videoconferencia con software libre inclinándose por Access Grid, el cual provee un entorno de colaboración avanzada emergente permitiendo que grupos de personas de redes remotas puedan interactuar, pero sus herramientas ya eran obsoletas y no se lograba satisfacer al usuario ya que la calidad del video era baja y no proporcionaba el detalle de la documentación en una reunión, en el 2004 miembros del instituto propusieron un servicio de video extendido para mejorar la infraestructura de su sistema de videoconferencia y obtener DV (videos digitales) y HDV (videos digitales de alta calidad), esta propuesta se basa en el protocolo SAP (Protocolo de anuncio de sesión) y el protocolo SDP (Protocolo de descripción de sesión). Se realizaron pruebas de comunicación entre el GIST y Ryerson University en Canadá mostrando un servicio de video mejorado resolviendo la asignación de direcciones de multidifusión y mostrando una interfaz de video para emplear códecs versátiles. (Sang Woo & Jongwon , 2004).

Debido a las necesidades del equipo de cirugía móvil del área de salud humana de la Universidad Nacional de Loja se inició una investigación exhaustiva para implementar un quirófano móvil con la mejor tecnología y realizar procedimientos ambulatorios a pacientes de zonas alejadas sin acceso inmediato a una institución de salud como un aporte a la telemedicina, se puede realizar transferencia de datos, audio y videoconferencia sobre internet 2 utilizando herramientas de software libre como Isabel y el protocolo H.323 (Mora, 2011).

En la UPS (Universidad Politécnica Salesiana) se realizó la implementación de un servidor para videoconferencia dotado de una aplicación capaz de obtener datos de un GRID para poder visualizar imágenes en 3D a través de la red avanzada; el propósito es la enseñanza virtual de medicina enfocándose en tele-enfermería, tele-salud y tele-consulta. Como herramienta Grid después de una comparación se decidió por Access Grid, como Clúster de procesamiento, se utilizó Clúster Rocks y como sistema operativo se utilizó Linux (Aspee & Chorlango, 2012).

En la Universidad de Valencia se ha utilizado la plataforma BigBlueButton instalado en el sistema operativo Linux, para obtener un espacio virtual de tutorías, mediante el cual el estudiante a través un computador puede resolver sus problemas, las reuniones son diariamente 1 hora cada semana y con horario fijo. Como resultado de la creación de los cursos los estudiantes mejoraron su rendimiento incrementando sus calificaciones y su interés por la materia (Grimaldo, y otros, 2014).

Estudiantes de la Universidad Santo Tomas en Bogotá lograron implementar un servicio de Webconference para que dos sedes de la empresa Orange Business Services localizadas en diferentes lugares puedan comunicarse utilizando técnicas de routing y switching, para dicho proyecto se optó por utilizar Openmeetings como servidor de videoconferencia en Ubuntu y un servidor DNS, La instalación y configuración se ejecutó sobre la plataforma de virtualización Virtual Box. (Carrillo, 2015).

Tabla 2. Cuadro de características de aplicaciones de videoconferencia.

|                                | Jitsi Meet   | OpenMeetings   | Isabel   | BigBlueButton (BBB)  | Access Grid   |
|--------------------------------|--|--|--|--|---|
| <b>Capacidades Adicionales</b> | Compartir archivos, grabar sesiones, compartir pantalla, utilizar pizarra virtual, chatear, compartir videos de youtube, administración de calidad de video, utilizar WebRTC | Compartir archivos, grabar y descargar las sesiones, compartir pantalla, utilizar pizarra virtual, crear encuestas, backups de archivos cargados, chatear, utilizar WebRTC | Compartir archivos, chatear, utilizar pizarra blanca, cargar archivos PostScript y GIF | Compartir documentos, chatear, grabar sesiones, realizar encuestas, utilizar pizarra virtual, utilizar notas compartidas, diseño de interface, activación de estados de ánimo, calidad de video, utilizar WebRTC | Compartir archivos, pantallas de despliegue, presentaciones y medios interactivos, chatear, |
| <b>Versión Estable</b>         | 2.8 / Marzo del 2015   | 4.0.1/Diciembre del 2017   | No especificado  | 2.0 / 4 Julio 2018   | 3.2 / Septiembre del 2010   |
| <b>Sistema Operativo</b>       | Linux, macOS, Windows, Android (Demo).   | GNU/Linux, Windows, Android (app pagada)   | Linux, Windows (en pruebas)  | GNU/Linux, Windows, Android, Mac,  | Linux y Windows   |
| <b>Licencia</b>                | apache Licence   | Eclipse Public Licence   | Bajo términos de AGORA SYSTEMS SA  | Lesser General Public Licence  | No especificado   |
| <b>Documentación</b>           | Excelente  | Desactualizada   | Pobre  | Excelente  | Excelente   |
| <b>Número de Conexiones</b>    | Ilimitado, depende del rendimiento del computador y de la velocidad de la conexión a Internet  | Hasta 25   | Ilimitado  | Ilimitado, depende del rendimiento del servidor  | Ilimitado   |
| <b>Nivel de Seguridad</b>      | Medio  | Excelente  | Medio  | Excelente  | Excelente   |
| <b>Velocidad Requerida</b>     | 128 Kbps   | 256 Kbps   | 128 Kbps   | 100 Kbps   | 20 Mbps   |

|                              |            |   |                              |                      |   |  |
|------------------------------|------------|---|------------------------------|----------------------|---|--|
| <b>Códecs Audio</b>          | <b>de</b>  | SILK, G.722, Speex, Opus, G.711(PCMU/PCMA), iLBC, GSM, G.729, | AAC, MP3, Opus, vorbis       | PCM, GSM, LPC, G.711 | SILK, G.722, Speex, Opus, G.711(PCMU/PCMA), iLBC, GSM, G.729, | G.711, G.22                            |
| <b>Códecs Video</b>          | <b>de</b>  | H.264, H.263, VP8   | H.263, H.264, H.265, VP8-VP9 | H.261, MPEG-1,-2,-4  | H.263, H.264, H.263, VP8                                      | H.261, H.264, MPEG4                    |
| <b>Protocolos transporte</b> | <b>de</b>  | TCP/UDP   | TCP/UDP                      | TCP/UDP              | TCP/UDP   | TCP/UDP                                |
| <b>Gestión sesiones</b>      | <b>de</b>  | SIP-SIMPLE, XMPP-JingleSTUN ICE, TURN                         | SIP                          | SIP, H.323           | SIP, H.323  | SIP, H.323, XMPP                       |
| <b>Objetivo Desarrollo</b>   | <b>del</b> | Multiuso  | Multiuso                     | Multiuso             | e-learning  | Multiuso (infraestructuras especiales) |

Nota: Esta tabla contiene 5 aplicaciones de videoconferencia con sus características principales.

Fuente: (Jitsi Meet, 2015), (Gutierrez, 2014), (Apache Software Foundation, 2018), (Centro de apoyo tecnologico de Castilla-La Mancha, 2017), (Pinos Castillo, 2014), (Ruano, 2016), (Villacrés Suarez, 2010), (Robalino & Rodríguez, 2011), (Matijašević & Dobrijević, 2005), (Diaz Ordoñez, 2013).

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

En la Tabla 2 se observa un cuadro con las características y servicios más relevantes de 5 aplicaciones de videoconferencia, las mismas que han sido seleccionadas como las más idóneas en base a proyectos ejecutados por diferentes instituciones para iniciar una comunicación de calidad a bajos costos como describe el apartado 1.7.

Tabla 3. Cuadro comparativo de aplicaciones de videoconferencia.

| Items                           | Características                       | Aplicaciones de Videoconferencia |                     |                 |                     |                    |
|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|--------------------|
|                                 |                                       | Jitsi Meet                       | OpenMeetings        | Isabel          | BigBlueButton (BBB) | Access Grid        |
| 1                               | Multicast                             | Si                               | Si                  | Si              | Si                  | Si (mediante Grid) |
| 2                               | Escalabilidad                         | Si                               | Si                  | No              | Si                  | Si                 |
| 3                               | Flexibilidad                          | Si                               | Si                  | No              | Si                  | Si                 |
| 4                               | Integración con servicios Open Source | Si                               | Si (desactualizado) | No especificado | Si                  | No                 |
| 5                               | Soporte Usuario                       | Si                               | Poco                | No              | Si                  | Si                 |
| 6                               | Sin costo                             | Si                               | Si                  | No              | Si                  | Si                 |
| 7                               | Opensource                            | Si                               | Si                  | Si              | Si                  | Si                 |
| 8                               | S.O. Linux                            | Si                               | Si                  | Si              | Si                  | Si                 |
| 9                               | Soporta dispositivos móviles          | Si                               | Si                  | No especificado | Si                  | No especificado    |
| <b>TOTAL DE ITEMS CUMPLIDOS</b> |                                       | 9                                | 7                   | 3               | 9                   | 6                  |

Nota: Esta tabla muestra el análisis comparativo de las aplicaciones de videoconferencia con su respectivo número total de ítems que cumple exitosamente.  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

La Tabla 3 muestra el estudio comparativo de las aplicaciones de videoconferencia seleccionadas, se ha utilizado la herramienta Excel y mediante la función *contar.si*, se han evaluado las aplicaciones y se ha obtenido el número de ítems que cumplen afirmativamente sin restricciones para llegar a la meta del proyecto. Como revelan los resultados hay dos aplicaciones que satisfacen todos los requerimientos, estas son: *Jitsi Meet* y *BigBlueButton (BBB)*. Es preciso recalcar que se consideran las capacidades adicionales de la Tabla 2 como funcionalidades principales que debe tener habilitado el usuario en una videoconferencia.

## **1.8.Aplicaciones de videoconferencia**

En este apartado se describen las aplicaciones que se destacaron en el análisis.

### **1.8.1.Jitsi Meet**

Es una herramienta de código abierto escrito en Java que permite realizar fácilmente videoconferencia en tiempo real entre muchos usuarios, es multiplataforma y soporta mensajería instantánea de varios protocolos (Díaz, 2015). Hay dos maneras de implementar Jitsi Meet, la primera forma es descargar el código fuente e instalarlo en el servidor dirigiéndose a este link <https://github.com/jitsi/jitsi-meet>; la segunda forma es utilizar la instalación propia y conectarse al servidor de Jitsi Meet mediante el link <https://meet.jit.si/> utilizando los navegadores Opera, Chromium o Chrome (Jitsi Meet, 2015).

El corazón de Jitsi Meet es Videobridge que es una SFU (Selective Forwarding Unit - Unidad de Reenvío Selectivo), ejecuta miles de transmisiones de video desde un único servidor, pasa el video y el audio entre los participantes sin mezclarlos, esto implica menor latencia y mejor calidad de comunicación. (Jitsi Meet, 2015).

## Arquitectura de Jitsi Meet

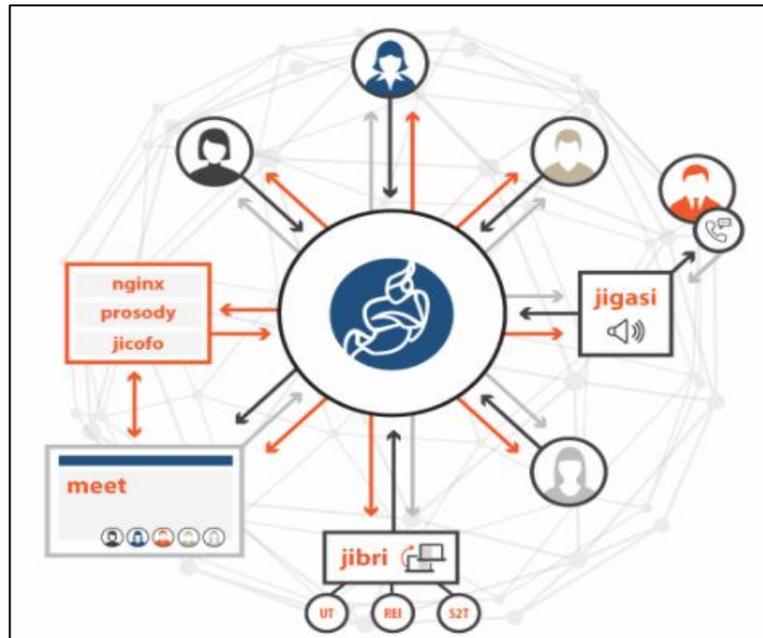


Figura 2. Arquitectura de Jitsi Meet y sus servicios  
Fuente: (Jitsi Meet, 2015).

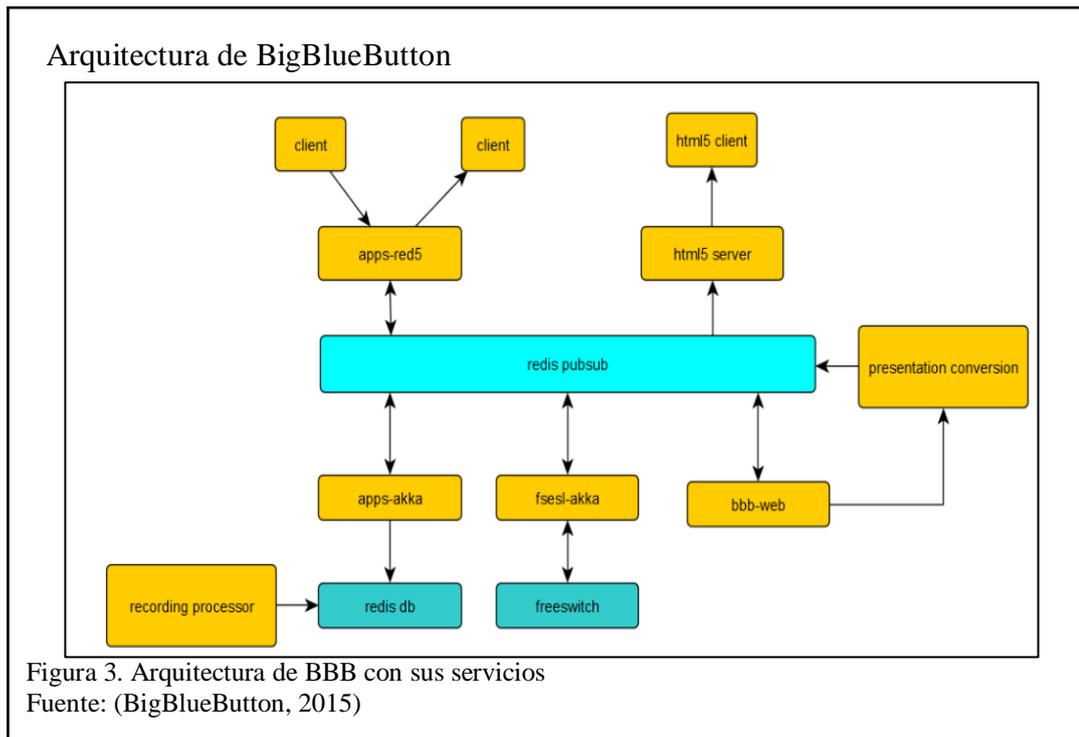
En la Figura 2 se puede apreciar la arquitectura del servidor de videoconferencia de Jitsi Meet con los componentes que posee, los mismos que se describen a continuación:

- Nginx: Es un servidor web/proxy ligero, de alto rendimiento, y provee mayor velocidad a las aplicaciones web, es ideal para realizar todo tipo de trabajos (Acens, 2013).
- Prosody: Es un servidor XMPP multiplataforma, utiliza pocos recursos, es fácil de usar y es extensible (Prosody IM, 2019).
- Jicofo: Jitsi Conference Focus, es un componente obligatorio de enfoque del servidor junto al Videobridge administran las sesiones de medios con cada participante (Jitsi, 2013).
- Jigasi: Jitsi Gateway to SIP, es una aplicación que permite la unión entre los clientes regulares SIP con las conferencias Jitsi Meet organizadas por Jitsi Videobridge (Jitsi, 2013)

- Jibri: es un conjunto de herramientas que permiten grabar y / o transmitir una conferencia de Jitsi Meet ejecutada en una máquina separada o máquina virtual; la utilización de la pantalla y dispositivos de audio es independiente de otras aplicaciones y acepta en un jibri solo una grabación a la vez (Jitsi, 2013).
- Libjitsi: es una biblioteca multimedia avanzada de Java original de Jitsi con licencia Apache, ha sido separada para ser utilizada por otros proyectos; permite transmisión segura en tiempo real posibilitando la captura, reproducción, codificación / decodificación y encriptación de flujos de audio y video (Jitsi, 2013).

### **1.8.2.BigBlueButton BBB**

Es un sistema de videoconferencia open source para enseñanza online de alta calidad tan solo accediendo desde un navegador web; BBB posee compatibilidad con JAWS y NVDA que son lectores de pantalla los cuales proporcionan apoyo a las personas con discapacidad visual. Este sistema posee 2 tipos de usuarios Espectador (alumno) el mismo que puede enviar y recibir audio y video, chatear, contestar encuestas y publicar emojis; y Moderador (instructor) el cual posee todas las capacidades del visor (BigBlueButton, 2015).



En la Figura 3 se aprecia la arquitectura del BBB con los componentes que posee, los cuales se describen brevemente cada uno a continuación:

- **Client:** Es una aplicación Flash que se ejecuta en el navegador, tiene la capacidad de cargar presentaciones en la API web y se conecta a Red5 usando RTMP o RTMPT.
- **HTML5 Client and Server:** Estos 2 componentes se crean usando Meteor y se comunican con los demás por medio de Redis PubSub (BigBlueButton, 2015). Meteor es un framework open source para aplicaciones web, permite creación rápida de prototipos con código multiplataforma (Meteor, 2013). El cliente HTML5 utiliza MongoDB que es una base de datos documental, no guarda la información en tablas, sino, guarda estructura de información BSON (equivalente a JSON), de ésta manera será más rápida y fácil la integración de datos en algunas aplicaciones; ésta base de datos va a almacenar las reuniones del Servidor BBB.
- **BBB Web:** Controla el servidor BBB, además, permite visualizar las integraciones con otras aplicaciones.

- **Presentation conversion:** Los archivos cargados tienen un proceso de conversión para ser mostrados, por ejemplo, documentos Office se convierten en PDF y luego a SWF.
- **Redis PubSub:** ayuda en la fluidez de la comunicación entre las aplicaciones que se procesan en el servidor.
- **Redis DB:** Es el lugar donde se almacena toda la información de una reunión
- **Red5 Apps (Screenshare, Apps, Voice, Video):** Es un conjunto de aplicaciones que permiten al usuario transmitir datos, enviar mensajes, compartir pantalla, realizar llamadas de voz y compartir cámara.
- **Apps Akka:** es la principal aplicación ya que provee comunicación en tiempo real en una sesión.
- **FsESL Akka:** es un servicio importante ya que permite la integración de BigBlueButton con otras aplicaciones que no usen FreeSwitch.
- **FreeSwitch:** es el que permite comunicación de voz en el servidor, posee la capacidad de integrarse con varios proveedores de VoIP (BigBlueButton, 2015).

### **1.8.2.1.Integraciones activas**

Se ha revisado el listado de posibles compatibilidades del servidor BBB con soluciones/herramientas open source y se han encontrado las siguientes:

**Moodle:** Es una aplicación de código abierto diseñada con fines educativos permitiendo crear cursos en línea de alta calidad y entornos virtuales para el aprendizaje (Distrito Tecnológico CABA, 2018).

**Wordpress:** Es un CMS (sistema de gestión de contenidos), el cual permite crear blogs, webs empresariales, tiendas en línea y es ideal para usuarios principiantes sin conocimientos técnicos (Web Empresa, 2015).

**Sakai:** Es una plataforma desarrollada con propósitos educativos que facilita la enseñanza y el aprendizaje entre instituciones. Normalmente es utilizado para manejo de cursos virtuales (Sakai Project, 2010).

**Drupal:** Es un CMS que se utiliza para desarrollar sitios web dinámicos, cuenta con una amplia y activa comunidad de desarrolladores los mismos que ayudan en su mejora (Buytaert, 2011).

## Capítulo 2

### Metodología

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3, se procede a realizar dos experimentos para determinar la aplicación idónea que se utilizará.

#### 2.1.Experimento 1 (Jitsi Meet)

Para el primer experimento se instaló la aplicación Jitsi Meet, en la Tabla 4 se detalla los prerequisites de hardware y software que se utilizó para el servidor.

Tabla 4. Prerrequisitos de Hardware y software

|                 | HARDWARE |      |                                       | SOFTWARE                                     |  |   |
|-----------------|----------|------|---------------------------------------|--|--|---|
|                 | DISCO    | RAM  | PROCESADOR                            | NAVEGADOR                                    | S. O.                                    | ADICIONALES   |
| <b>SERVIDOR</b> | 100 GB   | 6 GB | Intel® Core™<br>i7-4700MQ 2.40<br>GHz | Google Chrome<br>v64.0.3282.186<br>(64 bits) | Ubuntu<br>v14.04.5-<br>desktop-<br>amd64 | - Java<br>v1.8.0_161<br>- Servidor HTTP<br>Apache V2<br>- VMware®<br>Workstation 12<br>Pro 12.5.7 build-<br>5813279 |

Nota: Descripción de características físicas y programas utilizados en la instalación del servidor Jitsi Meet

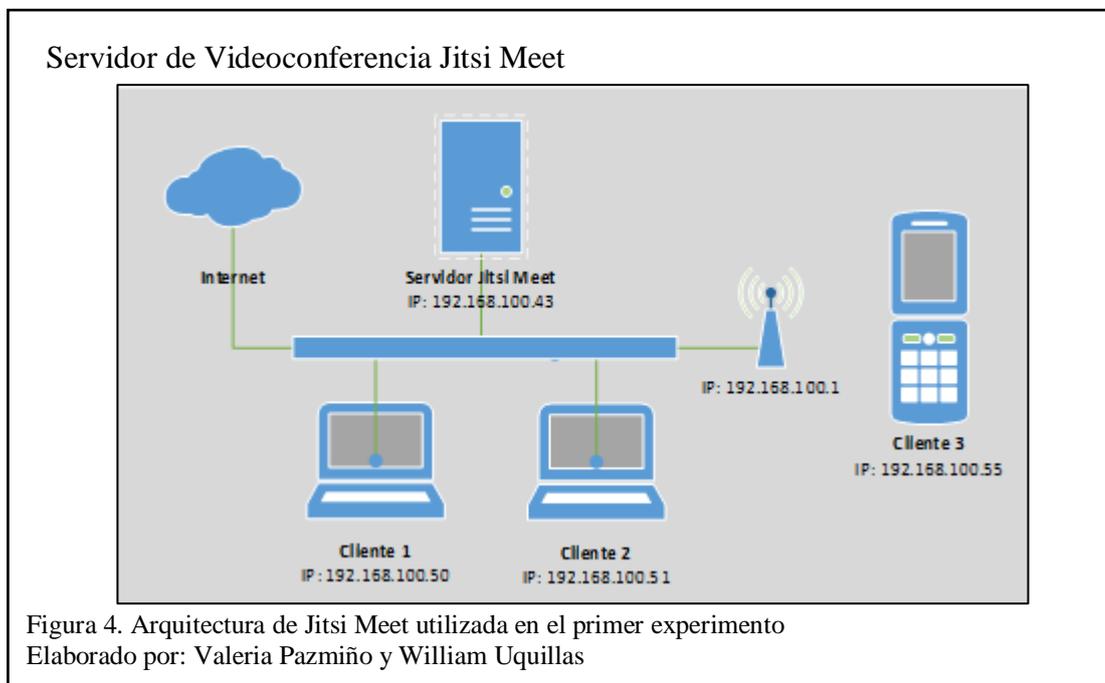
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

##### 2.1.1.Arquitectura Experimento 1 (Jitsi Meet)

La arquitectura del sistema de videoconferencia con la aplicación Jitsi Meet se presenta en la Figura 4 la mismo que consta de los equipos utilizados para iniciar una comunicación, se detalla la existencia de un *servidor* de videoconferencia, utilizando una máquina virtual montada en VMware, en donde se instaló e inició Apache, Java, navegador Chrome y Jitsi Meet con sus componentes descritos en la sección 2.8.1.

El servidor Jitsi Meet se conecta con dos clientes que son computadoras portátiles a través de la red LAN de pruebas mediante 3 patch core Cat 5 UTP; el *cliente 1* tiene 350 GB de disco, 4 GB de RAM, procesador Intel® Core™ i5 CPU M430 @ 2.27GHz; en la cual se instaló el navegador Google Chrome v64.0.3282.186 (64 bits)

en un sistema operativo Windows 7 Profesional 64 bits. El *cliente 2* tiene 1 TB de disco, 12 GB de RAM, procesador Intel® Core™ i7-4700MQ 2.40 GHz; en el mismo se instaló Google Chrome v64.0.3282.186 (64 bits) con el sistema operativo Windows 10 Profesional 64 bits. Además, un *cliente 3* el cual utiliza un teléfono móvil de 32 GB de espacio de memoria, 3GB de RAM, con sistema operativo Android v7.0, Kernel v3.18.14-12637612, procesador Ocho núcleos a 1,9GHz, se conecta al servidor a través del Wi-Fi utilizando la aplicación móvil de Jitsi Meet v1.14.75 la cual se la encuentra gratuita en la Play Store del dispositivo.



### 2.1.2. Construcción Experimento 1 (Jitsi Meet)

Se instaló Ubuntu y se realizó la configuración básica del sistema operativo, se actualizó la lista de paquetes disponibles con el comando “apt-get update”. Luego se actualizó Java ya que por defecto en el sistema operativo se instala Java 7 pero con esa versión no funciona Jitsi Meet. Se procedió con la instalación del Servidor HTTP Apache, en este punto, es decisión de los usuarios instalar apache o nginx ya que son servidores web, y Jitsi Meet es compatible con los dos. Por último se realiza la

instalación automática del servidor colocando una IP estática. Ya culminado el proceso los clientes pueden acceder al servidor mediante el navegador, se coloca la IP que se configuró durante la instalación, el nombre de la sesión, el cual depende del administrador de dicha sesión, y se obtuvo la comunicación entre el servidor y los clientes logrando realizar videoconferencia entre ellos. Durante las sesiones de videoconferencia se observó que el servidor no permitía a los usuarios ejecutar varias de las características que se tomaron en cuenta para seleccionar la aplicación (Jitsi org, 2017) entre ellas estaban: compartición de pantalla, apertura de un documento compartido, transferencia de archivos, conexión a la sala de videoconferencia desde el celular de pruebas, compartición de videos de YouTube, administración de la calidad del video y abrir archivos compartidos. Por este motivo se suspendieron las pruebas e intentos de integración con soluciones open source.

### **2.1.3. Conclusiones Experimento 1 (Jitsi Meet)**

Se ha logrado validar que el servidor Jitsi Meet permite utilizar de manera gratuita las capacidades adicionales expuestas en la Tabla 2 siempre y cuando utilicemos el servidor original que se encuentra disponible en el siguiente link: <https://meet.jit.si/> . La versión liberada para instalaciones locales no permite el uso de todas las capacidades adicionales de la Tabla 2, siendo una gran desventaja al momento de ejecutar el servidor local y desear utilizarlo para cumplir con los objetivos de una videoconferencia.

Jitsi Meet puede ser tomada como una solución en línea para ejecutar videoconferencias sin costos y de buena calidad, pero se debe utilizar los servidores propios de la solución.

## 2.2.Experimento 2 (BigBlueButton BBB)

Para el segundo experimento se instaló la aplicación BBB, en la Tabla 5 se detalla los prerrequisitos de hardware y software que se utilizó en el servidor de videoconferencia, se ha seleccionado Moodle como la aplicación open source que se integrará al BBB de acuerdo a varias implementaciones que se han realizado en otras instituciones (Morales Cordero, 2012, págs. 69-75), en la Tabla 6 se muestra los prerrequisitos del servidor Moodle.

Tabla 5. Prerrequisitos de Hardware y software del BBB

|                 | HARDWARE |      |                                 | SOFTWARE                          |  |
|-----------------|----------|------|---------------------------------|-----------------------------------|--|
|                 | DISCO    | RAM  | PROCESADOR                      | S. O.                             | ADICIONALES  |
| <b>SERVIDOR</b> | 50 GB    | 4 GB | Intel® Core™ i7-4700MQ 2.40 GHz | Ubuntu 16.04.5 LTS (Xenial Xerus) | - VMware®<br>Workstation 12 Pro 12.5.7 build-5813279 |

Nota: Descripción de características físicas y programas utilizados en la instalación del servidor BBB  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

Tabla 6. Prerrequisitos de Hardware y software del Moodle

|                 | HARDWARE |      |                                 | SOFTWARE        |  |
|-----------------|----------|------|---------------------------------|-----------------|--|
|                 | DISCO    | RAM  | PROCESADOR                      | S. O.           | ADICIONALES  |
| <b>SERVIDOR</b> | 50 GB    | 4 GB | Intel® Core™ i5-4700MQ 2.27 GHz | Centos 7.5 Core | - VMware®<br>Workstation 12 Pro 12.5.7 build-5813279 |

Nota: Descripción de características físicas y programas utilizados en la instalación del servidor Moodle  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

El servidor BBB y el Moodle tienen conexión a la red LAN de pruebas y los clientes se conectan al servidor utilizando la red inalámbrica, en la

Tabla 7 se describe las características de los clientes móviles y en la Tabla 8 se detalla las características de los clientes con PCs personales.

Tabla 7. Características de clientes móviles

|                      | <b>NOMBRE</b>      | <b>S.O.</b>    | <b>ALMACENAMIENTO<br/>(GB)</b> | <b>MEMORIA<br/>(GB)</b> | <b>PROCESADOR</b>   |
|----------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------|---|
| <b>CLIENTE<br/>1</b> | Huawei<br>P10 Lite | Android<br>7.0 | 32                             | 3                       | Kirin 658 de<br>ocho núcleos a<br>2,3GHz                  |
| <b>CLIENTE<br/>2</b> | Huawei<br>P20 Lite | Android<br>8.0 | 64                             | 4                       | Kirin 659 a<br>2,36GHz                                    |
| <b>CLIENTE<br/>3</b> | Huawei<br>Y5       | Android<br>8.0 | 16                             | 2                       | MediaTek<br>MT6739 de<br>cuatro núcleos a<br>1,5GHz       |
| <b>CLIENTE<br/>4</b> | Samsung<br>J2      | Android<br>6,0 | 8                              | 1,5                     | Spreadtrum<br>SC8830 quad-<br>core Cortex A7 a<br>1,5 GHz |
| <b>CLIENTE<br/>5</b> | Samsung<br>J5      | Android<br>6,0 | 16                             | 2                       | Snapdragon 410  |
| <b>CLIENTE<br/>6</b> | Samsung<br>J7      | Android<br>7,0 | 16                             | 2                       | Ocho núcleos  |

Nota: Detalla las características de los clientes móviles utilizados para las pruebas del servidor BBB  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

Tabla 8. Características de clientes con PCs portátiles

|                      | <b>S.O.</b>                   | <b>HDD<br/>(GB)</b> | <b>RAM<br/>(GB)</b> | <b>PROCESADOR</b> |
|----------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| <b>CLIENTE<br/>1</b> | Windows 10 Education          | 1000                | 12                  | Core i7 2,4GHz    |
| <b>CLIENTE<br/>2</b> | Windows 10 Home               | 1000                | 16                  | Core i7 2,8GHz    |
| <b>CLIENTE<br/>3</b> | Windows 7 Professional<br>SP1 | 350                 | 4                   | Core i5 2,27GHz   |
| <b>CLIENTE<br/>4</b> | Windows 7 Ultimate SP1        | 500                 | 4                   | Core i5 2,4GHz    |
| <b>CLIENTE<br/>5</b> | Windows 7 Professional<br>SP1 | 1000                | 6                   | Core i7 2,4GHz    |
| <b>CLIENTE<br/>6</b> | Windows 7 Professional<br>SP1 | 500                 | 2                   | Core i3 1,9GHz    |

Nota: Especifica a los clientes con laptops y sus características los cuales han sido utilizados para las pruebas del servidor BBB.

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

### 2.2.1.Arquitectura Experimento 2 (BigBlueButton BBB)

Al tener una configuración entre servidores y clientes es necesario que éste experimento se divida en dos fases:

### **Fase 1 (Servidores)**

En esta fase tenemos dos servidores: el servidor de videoconferencia BigBlueButton BBB al cual se le instaló el sistema operativo Ubuntu, los requerimientos solicitados para la habilitación de BBB y finalmente todos los servicios que utiliza; por otro lado, tenemos el servidor de aulas virtuales Moodle al cual se le instaló el sistema operativo Centos posteriormente se instaló todos los paquetes que permiten la ejecución de Moodle. Estos dos servidores se encuentran conectados a una red LAN usando patch cores UTP Cat 5. Adicionalmente el router presente en la arquitectura permite la comunicación entre los servidores, así como el acceso a la red Wi-Fi.

### **Fase 2 (Clientes)**

En esta fase tenemos a un total de 12 clientes separados por grupos en donde: grupo 1 son las PC's de los clientes y grupo 2 los Smart phones de los clientes. Estos clientes se encuentran conectados al router utilizando la red Wi-Fi.

A continuación se muestra la Figura 5 en donde se encuentra la arquitectura utilizada para la ejecución del experimento con el servidor BBB.

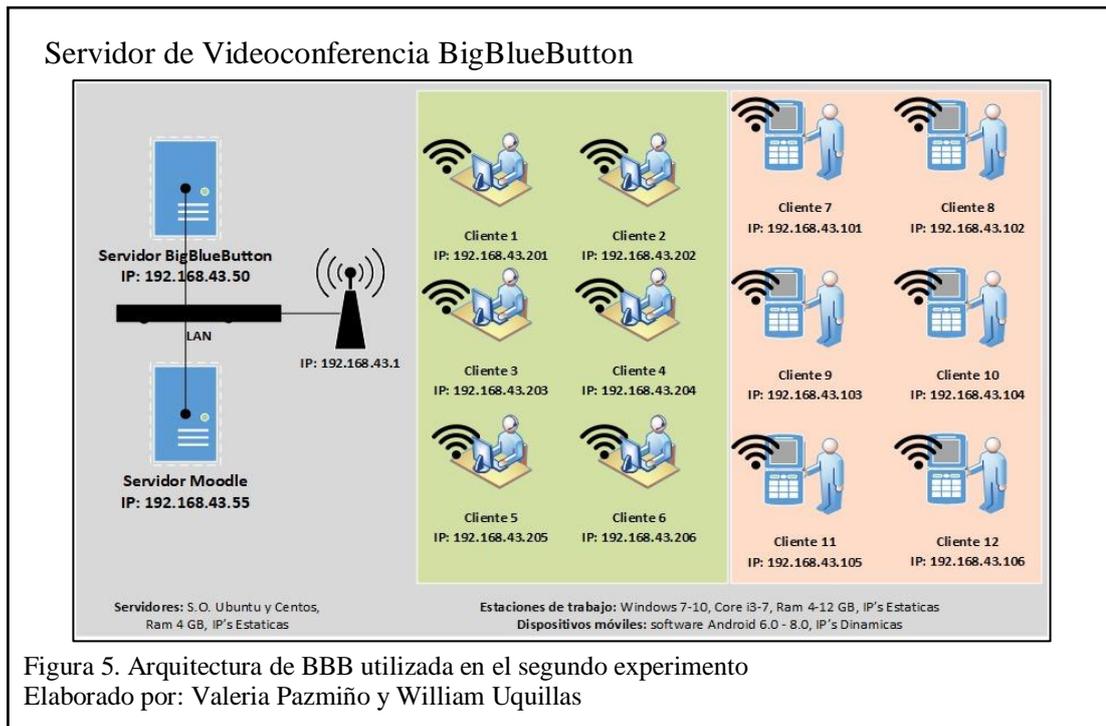


Figura 5. Arquitectura de BBB utilizada en el segundo experimento  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

### 2.2.2. Construcción Experimento 2 (BigBlueButton BBB)

En este apartado se describe la construcción del experimento BBB de acuerdo a las fases mencionadas en la arquitectura.

#### Fase 1 (Servidores)

**Servidor de Videoconferencia:** Se instaló Ubuntu en el cual se activó la configuración regional “en\_US.UTF-8” con los comandos: `sudo apt-get install language-pack-en`, `sudo update-locale LANG = en_US.UTF-8`. Se procede a verificar que el soporte para IPv6 esté inactivo con el siguiente comando: `ip addr | grep inet6`. Se comprobó que la versión de Linux activa sea la 4.X con el siguiente comando: `uname -r`. Se validó cuantos CPU tiene activo el servidor de pruebas con el siguiente comando: `cat /proc/cpuinfo | awk '/^processor/{print $3}' | wc -l`. Se configuró el firewall del servidor para permitir el tráfico a los puertos TCP 80, 443, 1935 y 7443 puertos UDP en el rango de 16384 – 32768, para realizar las pruebas se digitó el comando: `netcat -l #depuerto`. Se estableció un hostname y se asignó una

IP estática, posteriormente se actualizó los paquetes de repositorios de BigBlueButton y se inició el proceso de instalación, al finalizar se ejecutó el comando: `sudo bbb-conf -restart` y `sudo bbb-conf -check` con la finalidad de corroborar que la configuración se encuentre activa y sin inconvenientes.

**Servidor de aulas virtuales Moodle:** Se instaló el sistema operativo Centos, se realiza una actualización del sistema con el comando `sudo yum update`, se instaló el sistema de infraestructura LAMP (Linux, Apache, MySQL/MariaDB, Perl/PHP/Python), se instaló apache con el comando `sudo yum install httpd` y seguido la base de datos MariaDB con el comando `sudo yum install mariadb-server mariadb`, el requerimiento para activar Moodle es que se instale PHP, por lo que se procedió a instalar PHP con el comando `sudo yum install php php-mysql`, se obtienen los paquetes de instalación de Moodle con el comando `wget https://download.moodle.org/download.php/direct/stable32/moodle-3.2.1.tgz`, se descomprimen los archivos de instalación y se inicia la instalación con el comando `sudo /usr/bin/php /var/www/html/moodle/admin/cli/install.php`. Al finalizar el proceso se realiza la configuración básica y se integra con el servidor de videoconferencia BBB. Inmediatamente se valida que la integración finalice se crea un curso virtual y se asigna permisos de acceso a los clientes (estudiantes en Moodle)

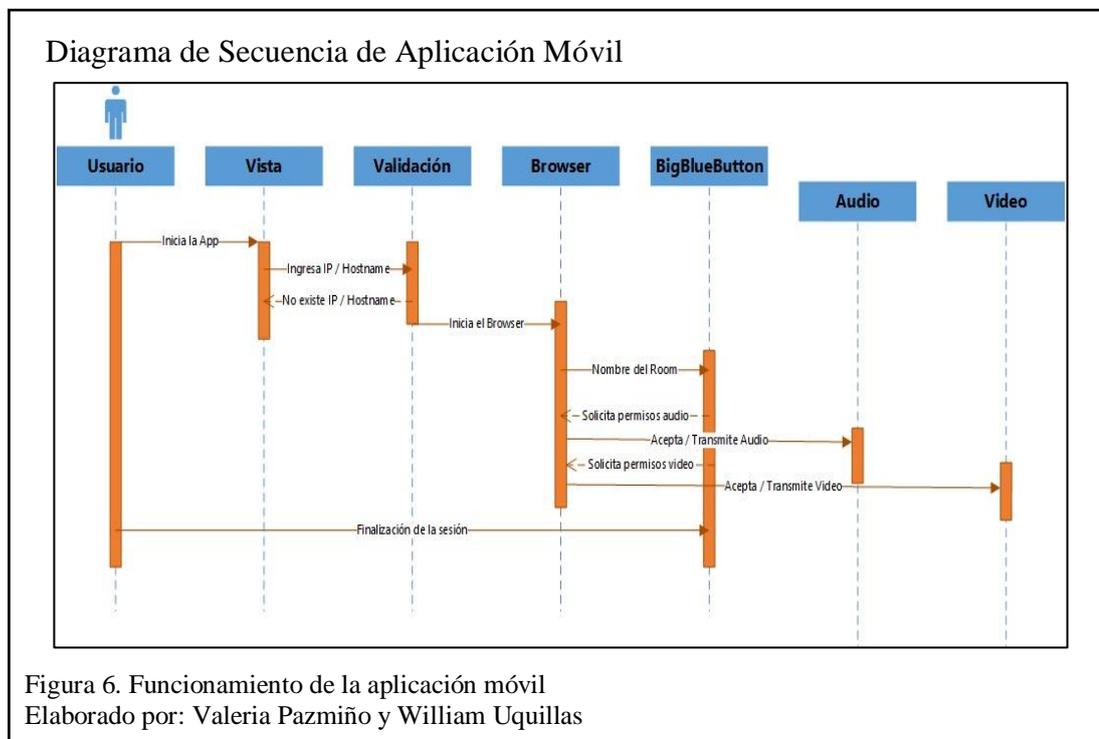
## **Fase 2 (Clientes)**

En las PC's de los clientes se escribió la siguiente URL: ***http://192.168.43.50*** para acceder al servidor de videoconferencia BBB, se estableció el nombre del usuario y el nombre de la sesión, el cual depende del administrador de dicha sesión.

Como se mencionó antes se realizó la integración con Moodle, en la cual se crearon usuarios y un curso para que posteriormente los clientes con PC's puedan acceder al servidor de videoconferencia BBB, fue necesario descargar el complemento para

navegadores “Adobe Flash Player” e instalarlo. Ya culminado el proceso los clientes lograron acceder al servidor mediante el navegador Firefox.

Se detectó que las APK liberadas en el App Store de Android requieren que se utilicen certificados SSL en los ambientes de producción de BBB, por lo que se realizó una búsqueda en git-hub y se encontró una aplicación open source que permite la integración entre un dispositivo móvil Android y un servidor de videoconferencia BBB.



En la Figura 6 se observa el diagrama de secuencia de la aplicación móvil, el cual muestra el proceso de funcionamiento, el usuario ingresa a la aplicación en donde se visualiza la interfaz, se digita la IP del servidor de videoconferencia en donde se valida si es o no la IP correcta, si es verdadero direcciona a un browser con la pantalla de inicio del BBB, en esta parte se va especificar un nombre de cuarto o sala, antes de iniciar la comunicación el BBB solicita permisos de audio y video al browser, después de ser concedidos estos permisos se procede a realizar videoconferencia.

Se revisó el código fuente de la aplicación móvil y se encontró que utiliza un método sencillo para conectarse al servidor de videoconferencia BBB. Los siguientes fragmentos de código muestran el funcionamiento de la APK:

### ***Descarga Plugins Adobe Air***

Se realiza la descarga de Adobe Air en el caso que el dispositivo móvil no lo tenga instalado.

```
<meta-data android:name="airDownloadURL"
android:value="https://market.android.com/details?id=com.adobe.air"/>
```

### ***Librerías de la aplicación móvil***

Se listan las librerías de la aplicación del dispositivo móvil.

```
<platform name="Android-ARM">
    <applicationDeployment>
        <nativeLibrary>localnotification.jar</nativeLibrary>
    </applicationDeployment>
</platform>
<initializer>com.juankpro.ane.localnotif.Extension</initializer>
<finalizer>com.juankpro.ane.localnotif.Extension</finalizer>
</applicationDeployment>
</platform>
<platform name="Android-x86">
    <applicationDeployment>
        <nativeLibrary>localnotification.jar</nativeLibrary>
    </applicationDeployment>
</platform>
<initializer>com.juankpro.ane.localnotif.Extension</initializer>
<finalizer>com.juankpro.ane.localnotif.Extension</finalizer>
</applicationDeployment>
</platform>
```

### ***Visualización de imagen***

Muestra las imágenes que se usará en la apk

```
<ImageView android:id="@id/WarningImage"
android:layout_width="wrap_content" android:layout_height="wrap_content"
android:src="@drawable/mp_warning_32x32_n" />
```

### ***Permisos para asignar en el browser***

En el caso que sea necesario se solicitan los permisos para utilizar la cámara, el micrófono, la localización, el estado del teléfono entre otros.

```
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>
<uses-permission
android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE"/>
<uses-permission android:name="android.permission.READ_PHONE_STATE"/>
```

```

    <uses-permission
android:name="android.permission.ACCESS_FINE_LOCATION"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.DISABLE_KEYGUARD"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.WAKE_LOCK"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.CAMERA"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.RECORD_AUDIO"/>
    <uses-permission
android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.RECORD_AUDIO"/>
    <uses-feature android:name="android.hardware.camera"
android:required="false"/>
    <uses-feature android:name="android.hardware.camera.autofocus"
android:required="false"/>

```

### ***Lanza el browser***

Se lanza un navegador web por default para acceder al servidor de videoconferencia.

```

<intent-filter>
    <action android:name="android.intent.action.VIEW"/>
    <category android:name="android.intent.category.DEFAULT"/>
    <category
android:name="android.intent.category.BROWSABLE"/>
    <data android:scheme="bigbluebutton"/>
    <data android:scheme="mconf"/>
</intent-filter> 1

```

Se conectó los dispositivos móviles a uno de los equipos clientes y se copió el APK a la carpeta de descargas. En la opción “Bloqueo y seguridad” se activó la opción “Orígenes desconocidos” para lograr instalar la APK.

Se ha utilizado la herramienta omnipeek y Pandora para monitorear el tráfico tanto de video, audio y chat en 3 escenarios diferentes: a) escenario 1 solo video, b) escenario 2 solo audio y c) escenario 3 chat, edición de presentaciones y las demás características que ofrece el BBB como muestra la

---

<sup>1</sup> GitHub <https://github.com/mconf/mconf-web>

Tabla 2. Se ha monitoreado todos los procesos del servidor de videoconferencia, de los cuales se ha seleccionado los más sobresalientes para lo cual se ha utilizado la herramienta Dynatrace.

### **2.2.3. Conclusiones Experimento 2 (BigBlueButton BBB)**

El segundo experimento se finalizó con éxito, ya que se logró utilizar todas las capacidades del servidor de videoconferencia BBB sin restricción alguna, realizando una instalación local.

Se logró levantar la integración entre el servidor de videoconferencia y la plataforma open source Moodle, permitiendo la activación y el ingreso de los estudiantes a cursos virtuales.

Mediante la utilización de la aplicación móvil se consiguió ingresar a las sesiones de videoconferencia realizadas entre computadoras personales y dispositivos móviles, no se observaron interferencias que puedan impedir la comunicación.

## Capítulo 3

### Resultados

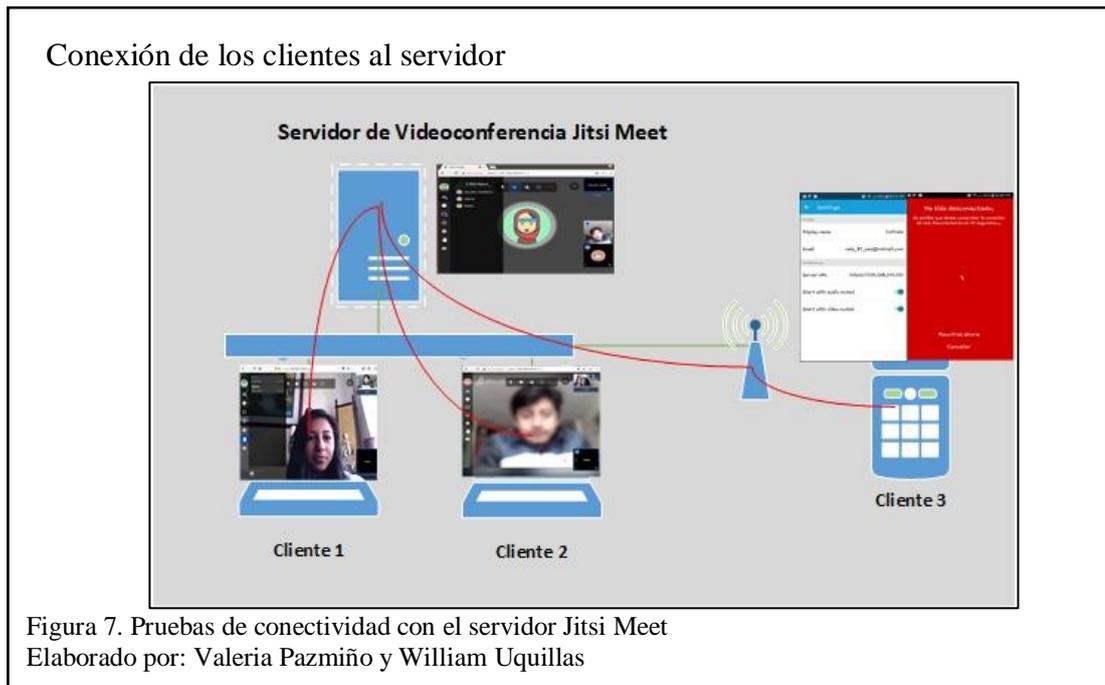
En esta parte se detallan las pruebas de funcionamiento de los experimentos que se realizaron, así mismo, los resultados que se obtuvo de cada uno.

#### 3.1.Experimento 1 (Jitsi Meet)

Se inició comunicación mediante videoconferencia entre los clientes conectándose al servidor Jitsi Meet que se instaló y se realizaron las pruebas pertinentes.

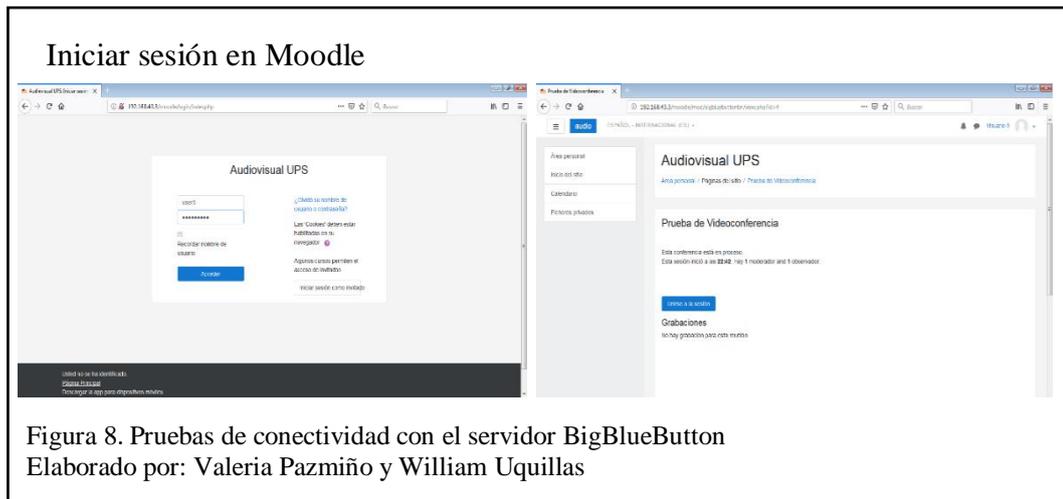
La Figura 7 muestra la conexión del *cliente 1*, el *cliente 2* y el *cliente 3* al *servidor Jitsi Meet*, durante varios intentos de enlace entre el servidor de videoconferencia y el *cliente 3* no se logró concretar una comunicación y mostró errores de conectividad. Como resultado de las pruebas de comunicación entre el *cliente 1* y *cliente 2* solo se obtuvo audio y video, chat.

Debido a que el servidor instalado localmente de Jitsi Meet no permitió utilizar todas las funcionalidades tales como: compartir archivos, grabar sesiones compartir pantalla, utilizar pizarra virtual, chatear, compartir videos de youtube, administración de calidad de video, no se ejecutaron pruebas adicionales tampoco mediciones de consumo de recursos del servidor y se procedió con el siguiente experimento.



### 3.2.Experimento 2 (BigBlueButton BBB)

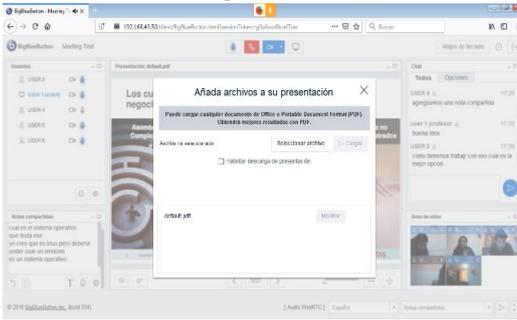
En el presente experimento se realizaron pruebas de funcionalidad en los 3 escenarios mencionados en el apartado 2.2.2; a continuación se detallan las características que se pudo experimentar en el servidor de videoconferencia instalado: iniciar sesión en Moodle, ingresar al curso con la opción *BigBlueButton*, presentarse en el chat general, interactuar en la notas compartidas y descargarlas, compartir la pantalla del profesor, cargar documento para la presentación, utilizar la opción de pantalla multiusuarios, reescribir sobre el archivo cargado, realizar encuestas, establecer el estado de ánimo de los participantes, crear salas para trabajos en grupo, realizar chat privado, cambiar el diseño de la videoconferencia y grabar la sesión para poder visualizar la interacción cuando se desee.



La Figura 8 muestra el inicio de sesión de clientes registrados en la plataforma Moodle, en donde al ingresar se observa el link habilitado para el curso mediante videoconferencia.

En la Figura 9 se logra detallar los servicios a los que se puede acceder al utilizar el servidor de videoconferencia BBB, todas las características fueron probadas exitosamente.

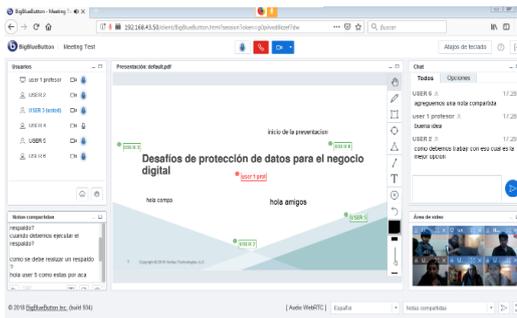
## Servicios de BigBlueButton



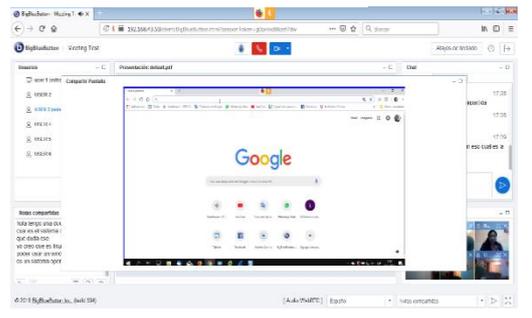
Subir un archivo



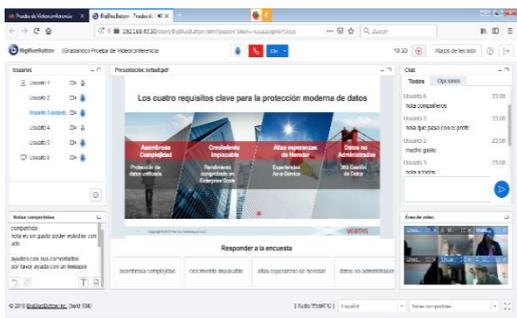
Presentarse en el chat general



Escribir sobre el archivo



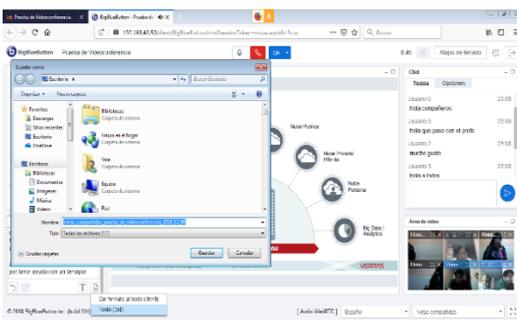
Compartir pantalla



Realizar encuestas



Mostrar los resultados de las encuestas



Descargar las notas compartidas



Cambiar el estado de ánimo

Figura 9. Características que brinda BBB  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

En la Figura 10 se observa la conexión entre un cliente utilizando la aplicación móvil y el servidor de videoconferencia BBB.



### 3.2.1. Pruebas de tráfico del servidor BBB

Los resultados del monitoreo de tráfico entre BBB y Moodle, entre BBB y App Móvil se los guarda en archivos de formato CSV los mismos que han sido ingresados al Rstudio para su análisis y posterior gráfica.

### Matriz de correlación de Tráfico

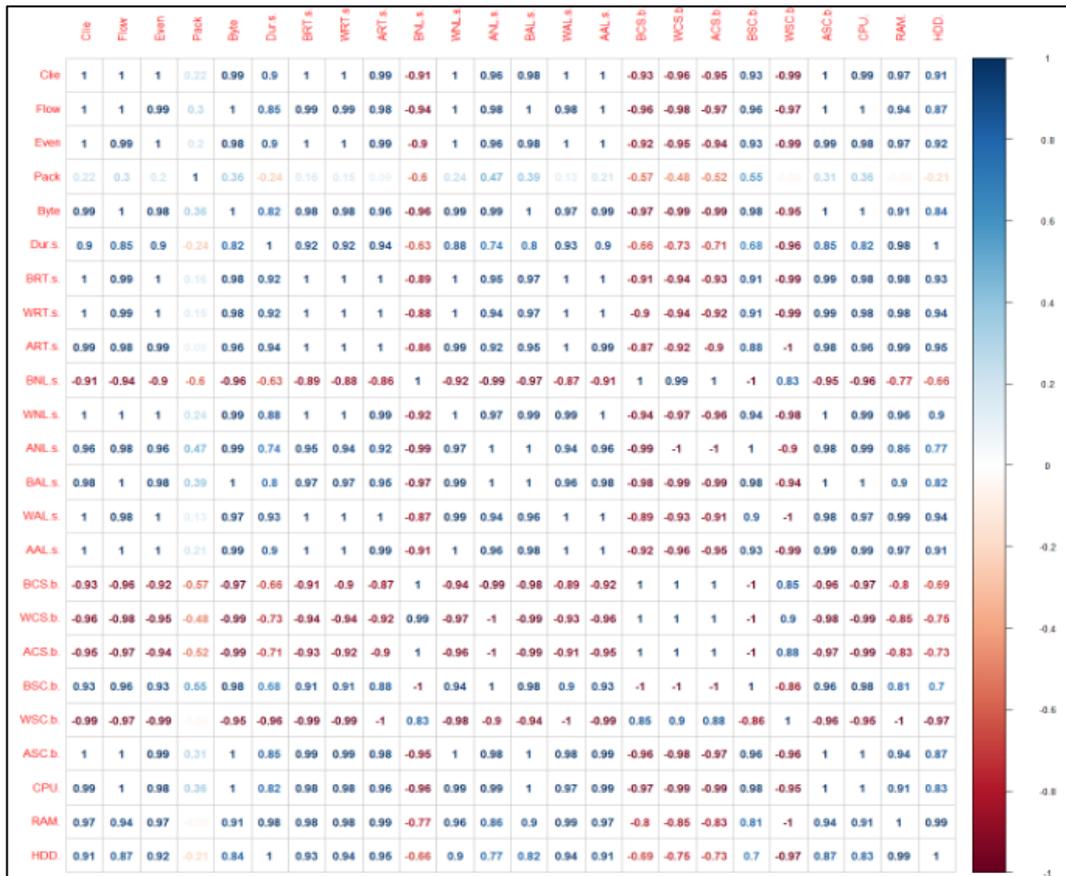


Figura 11. Matriz de correlación del tráfico del servidor BBB  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas  
 Fuente: (herramienta Rstudio).

En la Figura 11 se muestra la matriz de correlación con todas las variables proporcionadas por OmnipEEK y Pandora FMS con respecto al tráfico entre el BBB y sus clientes, con el fin de identificar las que tienen mayor relación.

Tabla 9. Variables de tráfico con su significado

| <b>VARIABLE</b> | <b>SIGNIFICADO</b>        | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
|-----------------|---------------------------|--|
| Clie            | Clients                   | Número de usuarios conectados  |
| Flow            | Flows                     | Número de flujos detectados  |
| Even            | Events                    | Número total de eventos identificados  |
| Pack            | Packets                   | Número de paquetes en el intercambio seleccionado  |
| Byte            | Bytes                     | Total de bytes representados por los paquetes que formaron parte del flujo seleccionado.   |
| Dur(s)          | Duration                  | Tiempo transcurrido, desde el primer hasta el último paquete del intercambio seleccionado, representado en la forma Horas: Minutos: Segundos |
| BRT(s)          | Best Response Time        | El menor tiempo de respuesta observado en el flujo actual.   |
| WRT(s)          | Worst Response Time       | tiempo de respuesta observado más largo en el flujo  |
| ART(s)          | Avg Response Time         | muestra el promedio aritmético de todos los tiempos de respuesta del cliente / servidor  |
| BNL(s)          | Best Network Latency      | La latencia de red observada más baja en el flujo actual.  |
| WNL(s)          | Worst Network Latency     | La latencia de red observada más larga en el flujo   |
| ANL(s)          | Avg Network Latency       | muestra el promedio aritmético de todas las latencias de red cliente / servidor  |
| BAL(s)          | Best Application Latency  | Latencia de aplicación observada más baja en el flujo actual.  |
| WAL(s)          | Worst Application Latency | latencia de aplicación más larga observada en el flujo   |
| AAL(s)          | Avg Application Latency   | muestra el promedio aritmético de todas las latencias de la aplicación cliente / servidor  |
| BCS(b)          | Best C->S                 | El mayor rendimiento observado desde el Cliente al Servidor en el flujo actual.  |
| WCS(b)          | Worst C->S                | Rendimiento observado más pequeño del Cliente al Servidor en el flujo actual.  |
| ACS(b)          | Avg C->S                  | Rendimiento promedio simple calculado para el tráfico del Cliente al Servidor observado en el flujo actual.                                  |
| BSC(b)          | Best S->C                 | Mayor rendimiento observado desde el Servidor al Cliente en el flujo actual.   |
| WSC(b)          | Worst S->C                | El rendimiento observado más pequeño del Servidor al Cliente en el flujo actual.   |
| ASC(b)          | Avg S->C                  | promedio simple calculado para el tráfico del Servidor al Cliente observado en el flujo actual   |
| CPU%            | Central Processing Unit   | cantidad de uso de la Unidad Central de Proceso utilizada para procesar las instrucciones  |
| RAM%            | Random Access Memory      | cantidad de uso de memoria utilizada para almacenar datos temporalmente  |
| HDD%            | Hard Disk Drive           | cantidad de uso de disco utilizada para almacenar datos  |

Nota: Información de variables de tráfico

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

Fuente: (herramienta Omnipeek).

En la Tabla 9 se observa todas las variables resultantes del monitoreo de tráfico, su acrónimo con su significado y descripción, de las cuales según su grado de relación se determinará las opcionadas para ser graficadas.

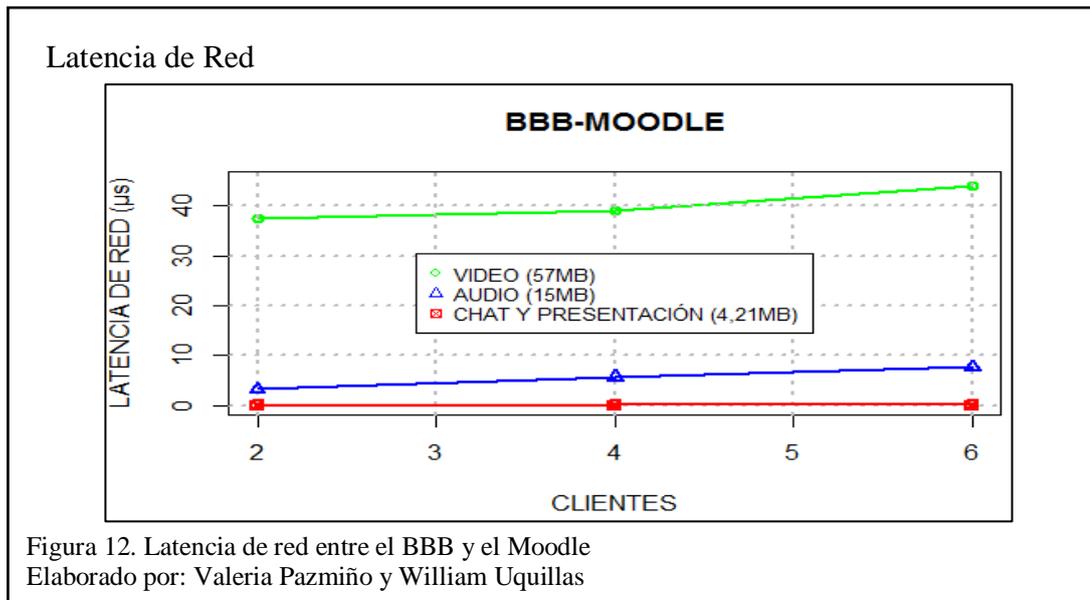
De acuerdo a la matriz de correlación de la Figura 11 se han seleccionado las variables con valores que estén entre 0,8 y 1 de relación, lo que da como resultado cinco de ellas: latencia de red, tiempo de respuesta, CPU, RAM y HDD, las mismas que se detallan en la Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 con sus respectivos valores otorgados por las herramientas de monitoreo de tráfico al realizar pruebas de video de 57 MB, audio 15 MB, chat y edición de presentación de 4,21MB en este caso entre el servidor de BBB y el Moodle con un ancho de banda de 100 MB.

Tabla 10. Latencia y tiempo de respuesta entre el BBB y el Moodle

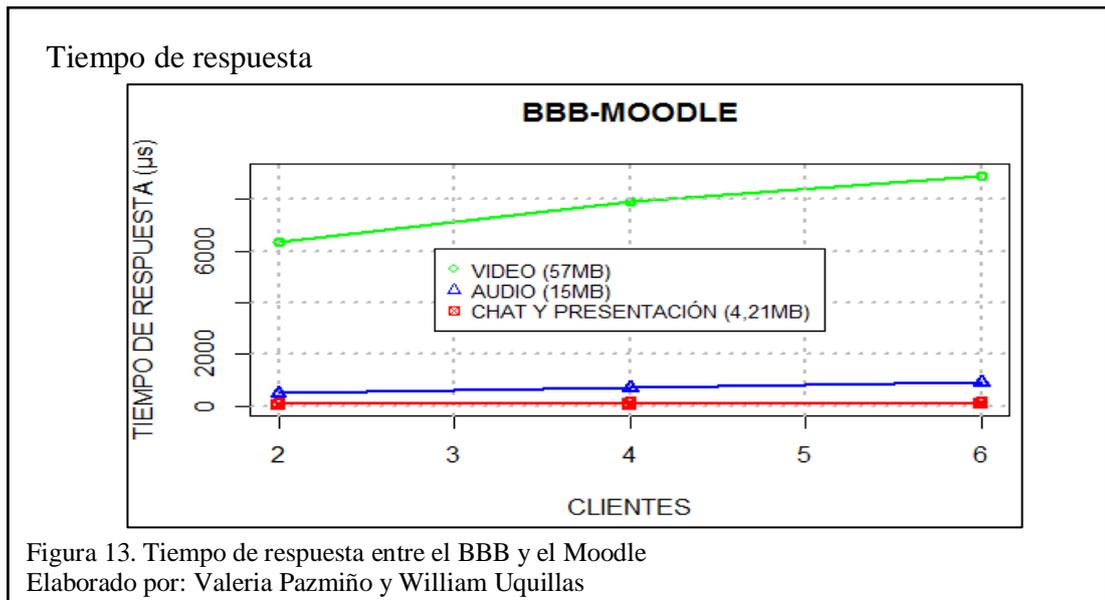
| CLIENTES | LATENCIA DE RED ( $\mu$ s) |       |       | TIEMPO DE RESPUESTA ( $\mu$ s) |        |        |
|----------|----------------------------|-------|-------|--------------------------------|--------|--------|
|          | VIDEO                      | AUDIO | CHAT  | VIDEO                          | AUDIO  | CHAT   |
| 2        | 37,38                      | 3,23  | 0,044 | 6355,35                        | 486,22 | 67,56  |
| 4        | 39,07                      | 5,66  | 0,055 | 7905,64                        | 687,61 | 88,46  |
| 6        | 43,9                       | 7,7   | 0,068 | 8907,85                        | 896,37 | 103,64 |

Nota: Información acerca del tráfico proporcionada por omnipeek

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



En la Figura 12 se observa el valor de latencia de red en microsegundos ( $\mu$ s) al realizar las pruebas entre el servidor de videoconferencia y el Moodle con 2, 4 y 6 clientes los mismos que transmitieron primero video, después audio, y finalmente chat, edición de presentaciones y los demás servicios que provee el BBB. Al difundir video se aprecia que se alcanzó un valor de  $37,38\mu$ s para 2 clientes,  $39,97\mu$ s para 4 clientes y  $43,90\mu$ s para 6 clientes. Con las pruebas de audio se obtuvo un valor de  $3,23\mu$ s para 2 clientes,  $5,66\mu$ s para 4 clientes y  $7,70\mu$ s para 6 clientes. Al realizar pruebas de chat y edición de presentaciones se alcanzó  $0,044\mu$ s para 2 clientes,  $0,055\mu$ s para 4 clientes y  $0,068\mu$ s para 6 clientes. Con estos datos se concluye que el video generó más latencia en la red que los demás servicios.



En la Figura 13 se observa el valor de tiempo de respuesta en microsegundos ( $\mu\text{s}$ ) al realizar las pruebas entre el servidor de videoconferencia y el Moodle con 2, 4 y 6 clientes los mismos que transmitieron primero video, después audio, y finalmente chat, edición de presentaciones y los demás servicios que provee el BBB. Al difundir video se aprecia que se alcanzó un valor de  $6355,35\mu\text{s}$  para 2 clientes,  $7905,64\mu\text{s}$  para 4 clientes y  $8907,85\mu\text{s}$  para 6 clientes. Con las pruebas de audio se obtuvo un valor de  $486,22\mu\text{s}$  para 2 clientes,  $687,61\mu\text{s}$  para 4 clientes y  $896,37\mu\text{s}$  para 6 clientes. Al realizar pruebas de chat y edición de presentaciones se alcanzó un valor de  $67,56\mu\text{s}$  para 2 clientes,  $88,46\mu\text{s}$  para 4 clientes y  $103,64\mu\text{s}$  para 6 clientes. Con estos datos se concluye que el video tuvo mayor tiempo de respuesta que los demás servicios.

Con el fin de obtener el porcentaje utilizado de CPU, RAM y HDD después de realizar las pruebas, se han creado las siguientes fórmulas:

- *unidad total libre* = *utl*
- *unidad obtenida del monitoreo* = *uom*
- *unidad utilizada antes transmisión* = *uuat*
- *unidad real utilizada* = *uru*

Ecuación 1.  $uru = uom - uuat$  <sup>2</sup>

Ecuación 2.  $utl = 100\% - uuat$  <sup>3</sup>

Tabla 11. Consumo de CPU entre el BBB y el Moodle

| CLIENTES | CPU%  |              |       |              |      |             |
|----------|-------|--------------|-------|--------------|------|-------------|
|          | VIDEO | VIDEO + S.O. | AUDIO | AUDIO + S.O. | CHAT | CHAT + S.O. |
| 2        | 4,78  | 10,14        | 1,07  | 6,43         | 0,21 | 5,57        |
| 4        | 16,77 | 22,13        | 6,64  | 12           | 2,87 | 8,23        |
| 6        | 37,69 | 43,05        | 13,31 | 18,67        | 4,66 | 10,02       |

Nota: Información de consumo de CPU proporcionada por Pandora FMS

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

Con el objetivo de validar los resultados obtenidos de la herramienta de monitoreo se han ejecutado manualmente en consola los comandos descritos en los módulos que se mencionan a continuación, se ha observado que los valores son similares, por lo que no es necesario el uso de otras herramientas.

La Figura 14 muestra un módulo con los comandos que se ejecutan para visualizar el porcentaje libre del CPU antes de realizar las pruebas de transmisión.

Módulo Libre CPU (ML-CPU)

```
module_begin
module_name CPU Free
module_type generic_data
module_exec echo $(( 100 - `vmstat 1 2 | tail -1 | awk '{ print $15 }'`))
module_max 100
module_min 0
module_description Percentage CPU Free
module_end
```

Figura 14. Comandos para mostrar el porcentaje libre de CPU en el servidor BBB  
Fuente: (Pandora FMS, 2018).

<sup>2</sup> Ecuación 1. Ecuación para obtener la unidad real utilizada

<sup>3</sup> Ecuación 2. Ecuación para obtener la unidad total libre

La Figura 15 muestra el módulo con los comandos que se ejecutan para visualizar el porcentaje de consumo del CPU después de realizar las pruebas de transmisión.

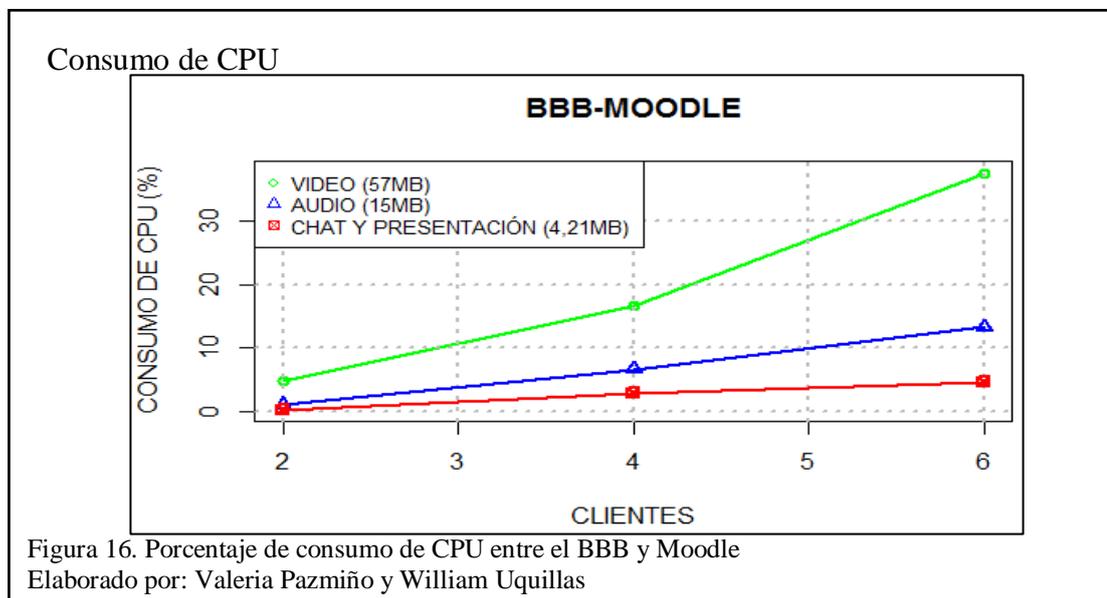
**Módulo Consumo CPU (MC-CPU)**

```

module_begin
module_name Load Average
module_type generic_data
module_exec uptime | awk -F "," '{print $3}' | awk '{print $3}' | tr
-d "n"
module_description Average load last minute
module_end

```

Figura 15. Comandos para mostrar el consumo de CPU en el servidor BBB  
Fuente: (Pandora FMS, 2018).



La Figura 16 refleja el porcentaje de consumo de CPU con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video, audio, chat, edición de presentaciones y los demás servicios que permite el BBB, entre el servidor de videoconferencia y Moodle. A través del ML-CPU se visualiza el porcentaje disponible de CPU antes de realizar las pruebas dando como resultado el 94,64%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 5,36%, dando el equivalente del 100% total de la CPU. En la Tabla 11 se observan los datos del consumo de CPU de las pruebas realizadas, la herramienta ejecutó los comandos del MC-CPU para visualizar el porcentaje de uso

de CPU incluyendo el valor inicial utilizado y se aplica la Ecuación 1 para mostrar solo el consumo del CPU por los servicios del BBB. Las primeras pruebas se basaron en difusión de video el mismo que consumió del CPU 4,78% para 2 clientes, 16,77% para 4 clientes y 37,69% para 6 clientes. Luego se realizaron pruebas de difusión de audio, el mismo que consumió del CPU 1,07% para 2 clientes, 6,64% para 4 clientes y 13,31% para 6 clientes. Finalmente se efectuaron pruebas de chat, edición de presentaciones y las demás características del BBB, los mismos que consumieron del CPU 0,21% para 2 clientes, 2,87% para 4 clientes y 4,66% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que el video consumió más CPU del servidor de videoconferencia que los demás servicios.

Tabla 12. Consumo de RAM entre el BBB y el Moodle

| CLIENTES | RAM % |              |       |              |       |             |
|----------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|
|          | VIDEO | VIDEO + S.O. | AUDIO | AUDIO + S.O. | CHAT  | CHAT + S.O. |
| 2        | 27,81 | 58,38        | 12,55 | 43,12        | 0,21  | 30,78       |
| 4        | 47,41 | 77,98        | 36,32 | 66,89        | 25,32 | 55,89       |
| 6        | 54,52 | 85,09        | 49,44 | 80,01        | 38,88 | 69,45       |

Nota: Información de consumo de RAM proporcionada por Pandora FMS  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

La Figura 17 muestra un módulo con los comandos que se ejecutan para visualizar el porcentaje libre del RAM.

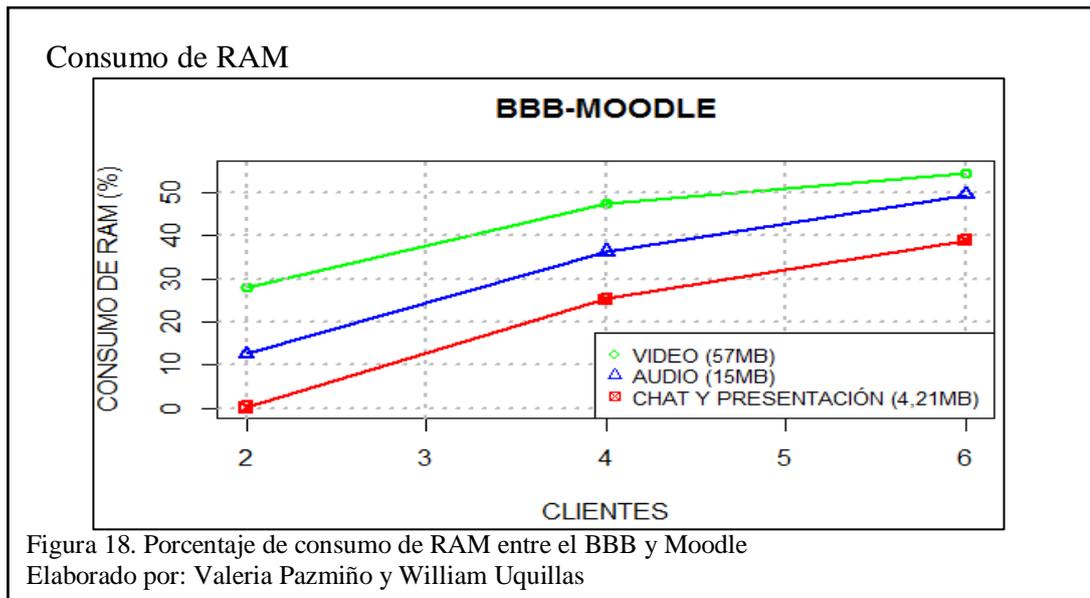
Módulo Libre RAM (ML-RAM)

```

module_begin
module_name FreePercentMemory
module_type generic_data
module_freepercentsmemorymodule_end

```

Figura 17. Comandos para mostrar el porcentaje libre de RAM en el servidor BBB  
 Fuente: (Pandora FMS, 2018).



La Figura 18 refleja el porcentaje de consumo de RAM con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video, audio, chat, edición de presentaciones y los demás servicios que permite el BBB, entre el servidor de videoconferencia y Moodle. A través del ML-RAM se visualiza el porcentaje disponible de RAM antes de realizar las pruebas dando como resultado el 69,43%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 30,57%, dando el equivalente del 100% total de la RAM. En la Tabla 12 se observan los datos del consumo de RAM de las pruebas realizadas incluyendo el valor inicial utilizado y se aplica la Ecuación 1 para mostrar solo el consumo de la RAM por los servicios del BBB. Las primeras pruebas se basaron en difusión de video el mismo que consumió de RAM 27,81% para 2 clientes, 47,41% para 4 clientes y 54,52% para 6 clientes. Luego se realizaron pruebas de difusión de audio, el mismo que consumió de RAM 12,55% para 2 clientes, 36,32% para 4 clientes y 49,44% para 6 clientes. Finalmente se efectuaron pruebas de chat, edición de presentaciones y las demás características del BBB, los mismos que consumieron de RAM 0,21% para 2 clientes, 25,32% para 4 clientes y 38,88% para 6 clientes. Con

estos resultados se concluye que el video consumió más RAM del servidor de videoconferencia que los demás servicios.

Tabla 13. Consumo de HDD entre el BBB y el Moodle

| CLIENTES | HDD % |              |       |              |      |             |
|----------|-------|--------------|-------|--------------|------|-------------|
|          | VIDEO | VIDEO + S.O. | AUDIO | AUDIO + S.O. | CHAT | CHAT + S.O. |
| 2        | 0,92  | 30,46        | 0,38  | 30,38        | 0,25 | 30,25       |
| 4        | 1,82  | 31,82        | 1,56  | 31,56        | 1,37 | 31,37       |
| 6        | 1,98  | 31,98        | 1,81  | 31,81        | 1,68 | 31,68       |

Nota: Información de consumo de HDD proporcionada por Pandora FMS  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

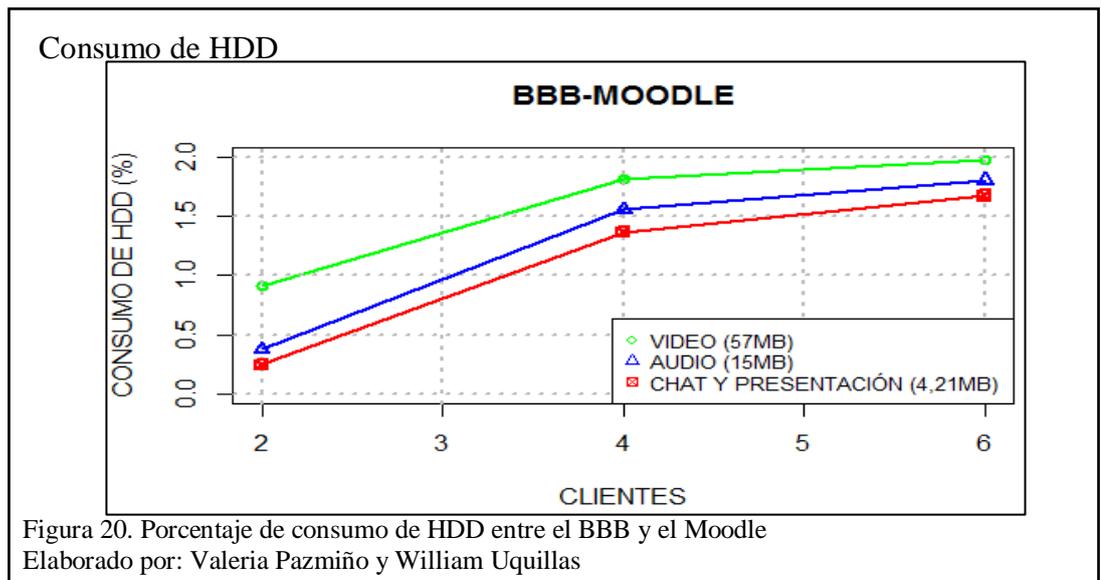
La Figura 19 muestra un módulo con los comandos que se ejecutan para visualizar el porcentaje libre del HDD.

Módulo HDD libre (ML-HDD)

```

module_begin
module_name Free Disk
module_type generic_data
module_freepcentdisk /
module_description Percentage Free Disk
module_end
    
```

Figura 19. Comandos para mostrar el porcentaje libre de HDD en el servidor BBB  
Fuente: (Pandora FMS, 2018).



La Figura 20 refleja el porcentaje de consumo temporal del HDD con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video, audio, chat, edición de presentaciones y los demás servicios que permite el BBB, entre el servidor de videoconferencia y Moodle. A través del ML-HDD se visualiza el porcentaje disponible de HDD antes de realizar las pruebas dando como resultado el 69,43%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 30,57%, dando el equivalente del 100% total del HDD. En la Tabla 13 se observan los datos del consumo temporal del HDD de las pruebas realizadas incluyendo el valor inicial utilizado y se aplica la Ecuación 1 para mostrar solo el consumo temporal de HDD por los servicios del BBB. Las primeras pruebas se basaron en difusión de video el mismo que consumió de HDD 0,92% para 2 clientes, 1,82% para 4 clientes y 1,98% para 6 clientes. Luego se realizaron pruebas de difusión de audio, el mismo que consumió de HDD 0,38% para 2 clientes, 1,56% para 4 clientes y 1,81% para 6 clientes. Finalmente se efectuaron pruebas de chat, edición de presentaciones y las demás características del BBB, los mismos que consumieron de HDD 0,25% para 2 clientes, 1,37% para 4 clientes y 1,68% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que el video consumió temporalmente más HDD del servidor de videoconferencia que los demás servicios.

Los datos del monitoreo de tráfico se muestran en la Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17, al realizar pruebas de video de 57MB, audio de 15MB, chat y edición de presentaciones de 4,21MB entre el servidor de BBB y la aplicación móvil con seis clientes con un ancho de banda de 54MB.

Tabla 14. Latencia de red y tiempo de respuesta entre el BBB y la aplicación móvil

| CLIENTES | LATENCIA DE RED ( $\mu$ s) |       |      | TIEMPO DE RESPUESTA ( $\mu$ s) |         |         |
|----------|----------------------------|-------|------|--------------------------------|---------|---------|
|          | VIDEO                      | AUDIO | CHAT | VIDEO                          | AUDIO   | CHAT    |
| 2        | 55,36                      | 4,93  | 1,21 | 7052,92                        | 6056,86 | 1230,98 |
| 4        | 59,04                      | 6,59  | 1,5  | 8857,35                        | 6500,67 | 2007,98 |
| 6        | 67,53                      | 8,9   | 1,8  | 9018,35                        | 7127,84 | 3496,85 |

Nota: Información acerca del tráfico proporcionada por omnipeek

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

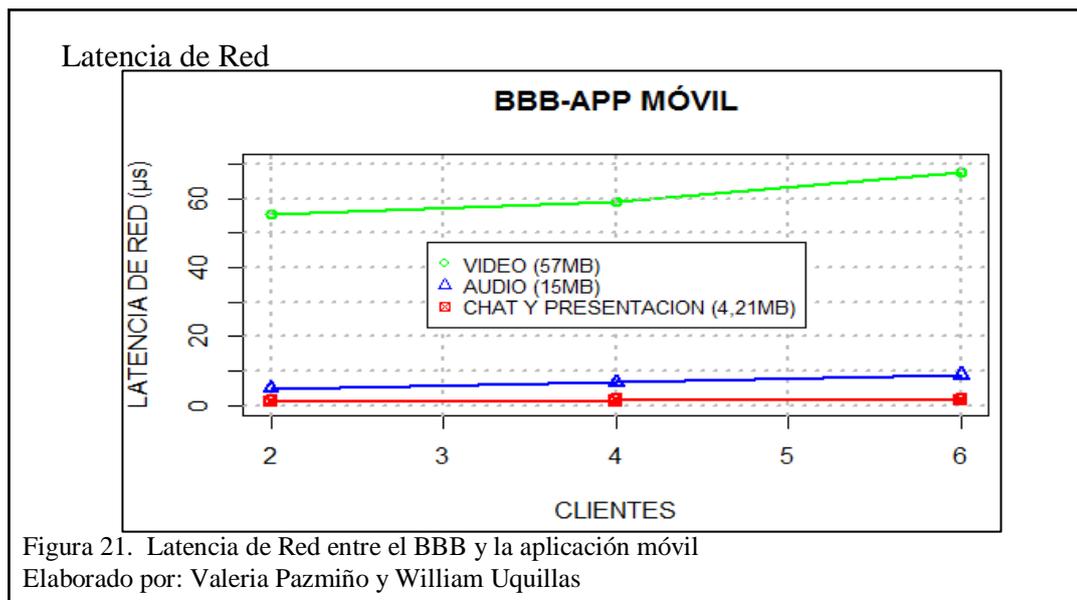
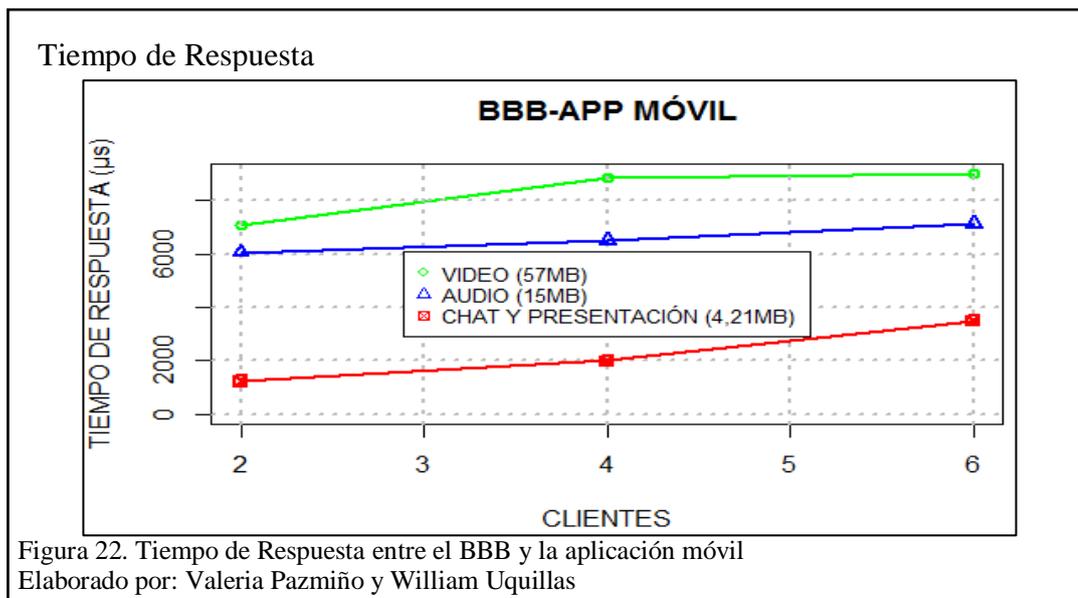


Figura 21. Latencia de Red entre el BBB y la aplicación móvil

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

En la Figura 21 se observa el valor de latencia de red en microsegundos ( $\mu$ s) al realizar las pruebas entre el servidor de videoconferencia y la aplicación móvil con 2, 4 y 6 clientes los mismos que transmitieron primero video, después audio, y finalmente chat, edición de presentaciones y los demás servicios que provee el BBB. Al difundir video se alcanzó un valor de  $55,36\mu$ s para 2 clientes,  $59,04\mu$ s para 4 clientes y  $67,53\mu$ s para 6 clientes. Con las pruebas del audio se obtuvo un valor de  $4,93\mu$ s para 2 clientes,  $6,59\mu$ s para 4 clientes y  $8,90\mu$ s para 6 clientes. Al realizar pruebas de chat y edición de presentaciones se alcanzó  $1,21\mu$ s para 2 clientes,  $1,5\mu$ s para 4 clientes y  $1,80\mu$ s para 6 clientes. Con estos datos se concluye que el video generó más latencia en la red que los demás servicios.



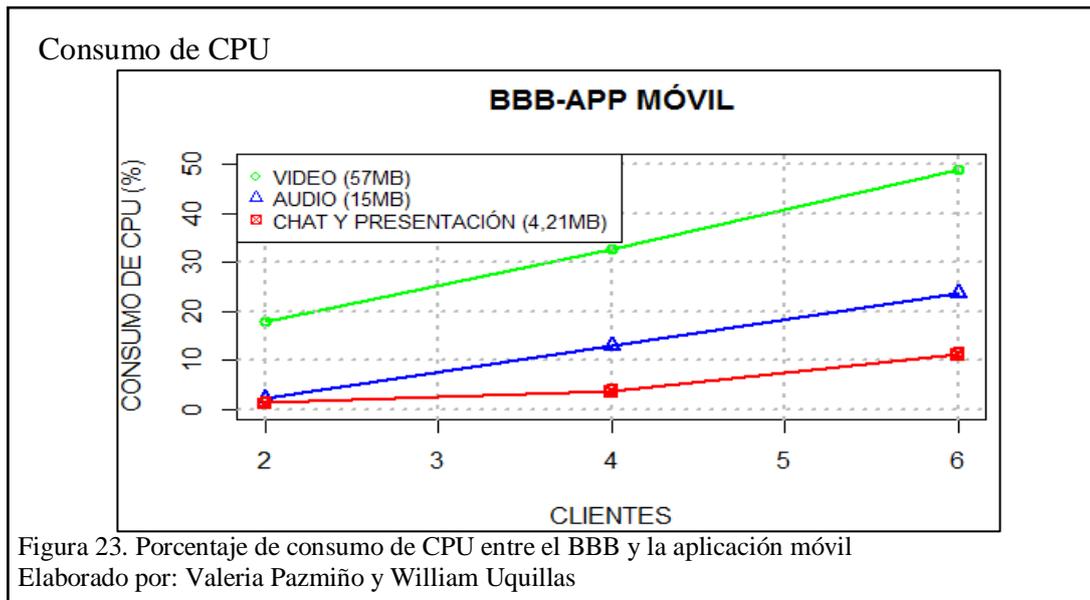
En la Figura 22 se observa el tiempo de respuesta en microsegundos ( $\mu\text{s}$ ) al realizar las pruebas entre el servidor de videoconferencia y la aplicación móvil con 2, 4 y 6 clientes los mismos que transmitieron primero video, después audio, y finalmente chat, edición de presentaciones y los demás servicios que provee el BBB. Al difundir video se alcanzó  $7052,92\mu\text{s}$  para 2 clientes,  $8857,35\mu\text{s}$  para 4 clientes y  $9018,35\mu\text{s}$  para 6 clientes. Con las pruebas del audio se obtuvo  $6056,86\mu\text{s}$  para 2 clientes,  $6500,67\mu\text{s}$  para 4 clientes y  $7127,84\mu\text{s}$  para 6 clientes. Al realizar pruebas de chat y edición de presentaciones se obtuvo  $1230,98\mu\text{s}$  para 2 clientes,  $2007,98\mu\text{s}$  para 4 clientes y  $3496,85\mu\text{s}$  para 6 clientes. Con estos datos se concluye que el video tuvo mayor tiempo de respuesta que los demás servicios.

Tabla 15. Consumo de CPU entre el BBB y la aplicación móvil

| CLIENTES | CPU % |              |       |              |       |             |
|----------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|
|          | VIDEO | VIDEO + S.O. | AUDIO | AUDIO + S.O. | CHAT  | CHAT + S.O. |
| 2        | 17,9  | 23,26        | 2,2   | 7,56         | 1,27  | 6,63        |
| 4        | 32,65 | 38,01        | 12,96 | 18,32        | 3,67  | 9,03        |
| 6        | 48,87 | 54,23        | 23,69 | 29,05        | 11,18 | 16,54       |

Nota: Porcentaje de CPU entre el BBB y el Moodle proporcionado por Pandora FMS

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



En la Figura 23 refleja el porcentaje de consumo de CPU con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video, audio, chat, edición de presentaciones y los demás servicios que permite el BBB, entre el servidor de videoconferencia y la aplicación móvil. A través del ML-CPU se visualiza el porcentaje disponible de CPU antes de realizar las pruebas dando como resultado el 94,64%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 5,36%, dando el equivalente del 100% total de la CPU. En la Tabla 15 se observan los datos del consumo de CPU de las pruebas realizadas, la herramienta ejecutó los comandos del MC-CPU para visualizar el porcentaje de uso de CPU incluyendo el valor inicial utilizado y se aplica la Ecuación 1 para mostrar solo el consumo del CPU por los servicios del BBB. Las primeras pruebas se basaron en difusión de video el mismo que consumió del CPU 17,90% para 2 clientes, 32,65% para 4 clientes y 48,87% para 6 clientes. Luego se realizaron pruebas de difusión de audio, el mismo que consumió del CPU 2,20% para 2 clientes, 12,96 para 4 clientes y 23,69% para 6 clientes. Finalmente se efectuaron pruebas de chat, edición de presentaciones y las demás características del BBB, los mismos que consumieron del CPU 1,27% para 2 clientes, 3,67% para 4

clientes y 11,18% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que el video consumió más CPU del servidor de videoconferencia que los demás servicios.

Tabla 16. Consumo de RAM entre el BBB y la aplicación móvil

| CLIENTES | RAM % |              |       |              |       |             |
|----------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------------|
|          | VIDEO | VIDEO + S.O. | AUDIO | AUDIO + S.O. | CHAT  | CHAT + S.O. |
| 2        | 36,52 | 67,09        | 21,55 | 52,12        | 11,41 | 41,98       |
| 4        | 58,44 | 89,01        | 42,32 | 72,89        | 31,55 | 62,12       |
| 6        | 64,21 | 94,78        | 58,15 | 88,72        | 39,66 | 70,23       |

Nota: Porcentaje de RAM entre el BBB y el Moodle proporcionado por Pandora FMS  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

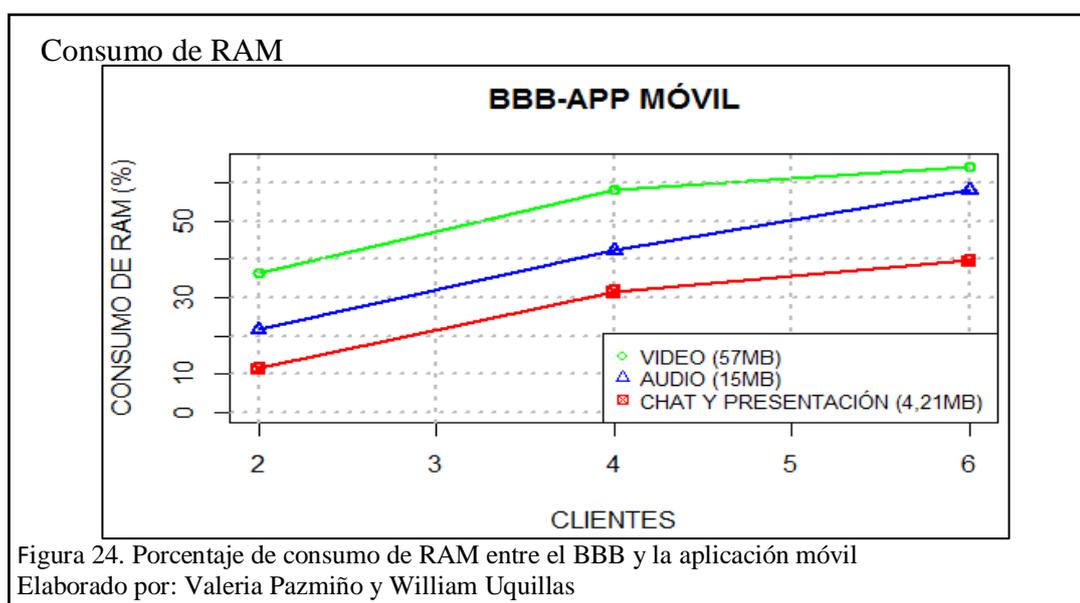


Figura 24. Porcentaje de consumo de RAM entre el BBB y la aplicación móvil  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

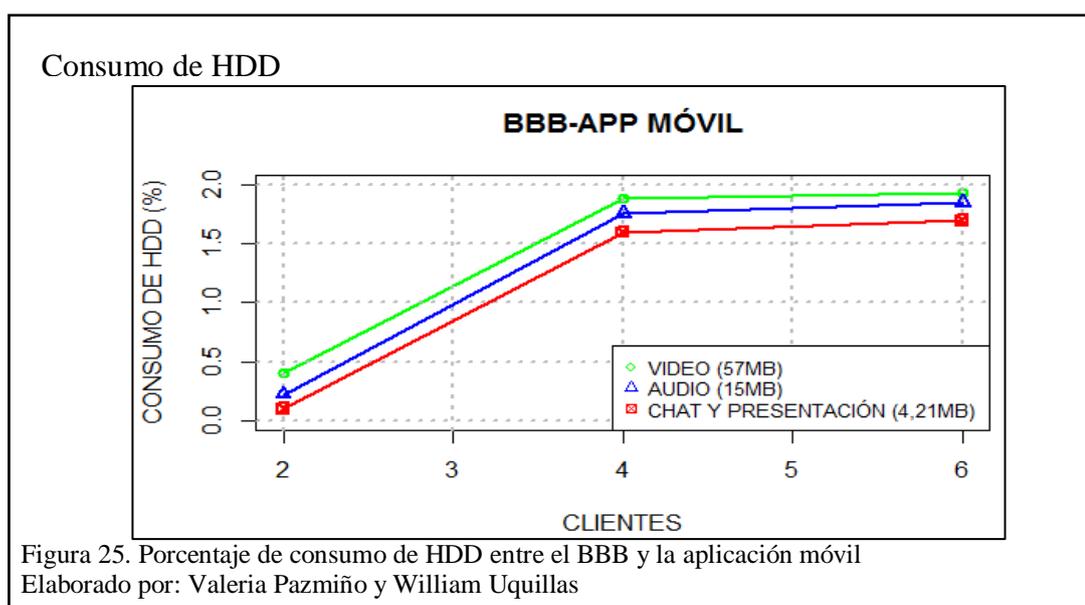
La Figura 24 refleja el porcentaje de consumo de RAM con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video, audio, chat, edición de presentaciones y los demás servicios que permite el BBB, entre el servidor de videoconferencia y la aplicación móvil. A través del ML-RAM se visualiza el porcentaje disponible de RAM antes de realizar las pruebas dando como resultado el 69,43%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 30,57%, dando el equivalente del 100% total de la RAM. En la Tabla 16 se observan los datos del consumo de RAM de las pruebas

realizadas incluyendo el valor inicial utilizado y se aplica la Ecuación 1 para mostrar solo el consumo de la RAM por los servicios del BBB. Las primeras pruebas se basaron en difusión de video el mismo que consumió de RAM 36,52% para 2 clientes, 58,44% para 4 clientes y 64,21% para 6 clientes. Luego se realizaron pruebas de difusión de audio, el mismo que consumió de RAM 21,55% para 2 clientes, 42,32% para 4 clientes y 58,15% para 6 clientes. Finalmente se efectuaron pruebas de chat, edición de presentaciones y las demás características del BBB, los mismos que consumieron de RAM 11,41% para 2 clientes, 31,55% para 4 clientes y 39,66% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que el video consumió más RAM del servidor de videoconferencia que los demás servicios.

Tabla 17. Consumo de HDD entre el BBB y la aplicación móvil

| CLIENTES | HDD % |              |       |              |      |             |
|----------|-------|--------------|-------|--------------|------|-------------|
|          | VIDEO | VIDEO + S.O. | AUDIO | AUDIO + S.O. | CHAT | CHAT + S.O. |
| 2        | 0,4   | 45,41        | 0,22  | 45,23        | 0,1  | 45,11       |
| 4        | 1,88  | 46,89        | 1,76  | 46,77        | 1,6  | 46,61       |
| 6        | 1,93  | 46,94        | 1,85  | 46,86        | 1,7  | 46,71       |

Nota: Porcentaje de HDD entre el BBB y el Moodle proporcionado por Pandora  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



La Figura 25 refleja el porcentaje de consumo temporal de HDD con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video, audio, chat, edición de presentaciones y los demás servicios que permite el BBB, entre el servidor de videoconferencia y la aplicación móvil. A través del ML-HDD se visualiza el porcentaje disponible de HDD antes de realizar las pruebas dando como resultado el 54,99%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 45,01%, dando el equivalente del 100% total del HDD. En la Tabla 17 se observan los datos del consumo del HDD de las pruebas realizadas incluyendo el valor inicial utilizado y se aplica la Ecuación 1 para mostrar solo el consumo temporal de HDD por los servicios del BBB. Las primeras pruebas se basaron en difusión de video el mismo que consumió de HDD 0,4% para 2 clientes, 1,88% para 4 clientes y 1,93% para 6 clientes. Luego se realizaron pruebas de difusión de audio, el mismo que consumió de HDD 0,22% para 2 clientes, 1,76% para 4 clientes y 1,85% para 6 clientes. Finalmente se efectuaron pruebas de chat, edición de presentaciones y las demás características del BBB, los mismos que consumieron de HDD 0,1% para 2 clientes, 1,6% para 4 clientes y 1,7% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que el video consumió temporalmente más HDD del servidor de videoconferencia que los demás servicios.

### **3.2.2.Pruebas de la aplicación BBB**

Los resultados del monitoreo la aplicación se los guarda en un archivo de formato CSV los mismos que han sido ingresados al Rstudio para su análisis y posterior gráfica. En la Figura 26 se observa la matriz de correlación acerca de la aplicación la cual muestra todas las variables.

### Matriz de correlación de la Aplicación

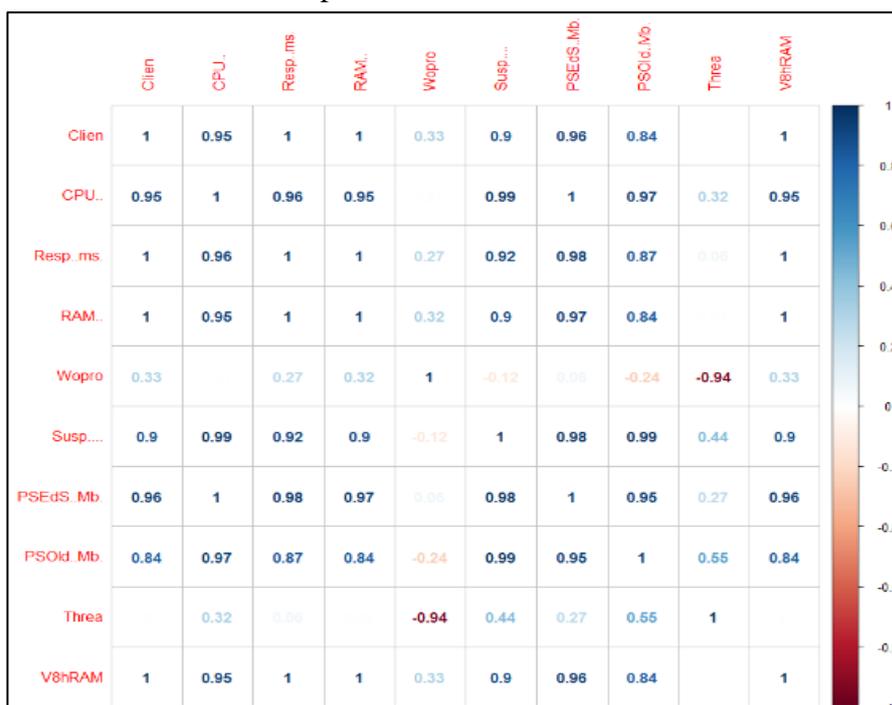


Figura 26. Matriz de correlación de los procesos dentro del BBB

Elaborado: Valeria Pazmiño y William Uquillas

Fuente: (herramienta Rstudio)

Tabla 18. Variables de la aplicación y su significado

| VARIABLE | SIGNIFICADO             | DESCRIPCIÓN  |
|----------|-------------------------|--|
| Clieñ    | Cliente                 | Número de usuarios conectados  |
| CPU      | Central Processing Unit | cantidad de uso de la Unidad Central de Proceso utilizada para procesar las instrucciones              |
| Resp     | Responsiveness          | capacidad específica de un sistema para completar las tareas asignadas dentro de un tiempo determinado |
| RAM      | Random Access Memory    | cantidad de uso de memoria utilizada para almacenar datos temporalmente                                |
| Wopro    | Worker processes        | Número de procesos de trabajo  |
| Susp     | Suspension              | Tiempo de suspensión o bloqueo de un proceso   |
| PSEdS    | PS Eden Space           | Cantidad de memoria ocupada por procesos que se acaban de construir                                    |
| PSOld    | PS Old Generation       | Cantidad de memoria ocupada por clases Java  |
| Threa    | Threads                 | Cantidad de Subprocesos o procesos ligeros   |
| V8hRAM   | V8 heap RAM             | Consumo de memoria al ejecutar Google Chrome, Chromium, Node.js y io.js                                |

Nota: Información de variables del monitoreo de la aplicación según Dynatrace

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

En la Tabla 18 se muestra todas las variables resultantes del monitoreo de la aplicación

con su significado y descripción, y en la Tabla 19 se observan los procesos más

relevantes que se ejecutan dentro del servidor BBB así mismo con su significado y descripción.

Tabla 19. Procesos del BBB

| <b>PROCESO</b> | <b>SIGNIFICADO</b>  |
|----------------|---|
| Tomcat         | Contenedor web de servlets, puede funcionar como un servidor web                    |
| Freeswitch     | Plataforma open source para crear voz, video y mensajería instantánea               |
| MongoDB        | Gestor de base de datos orientado a documentos, BBB lo utiliza al implementar HTML5 |
| Nginx          | Servidor web/proxy open source  |

Nota: Información de procesos proporcionada por Dynatrace

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

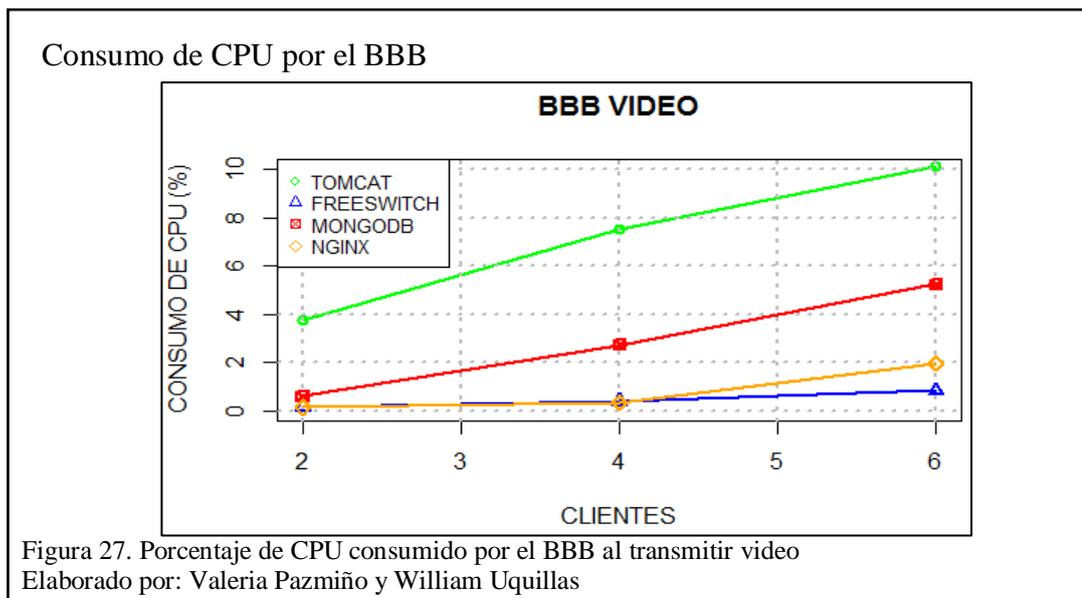
Como resultado de la matriz de correlación de la Figura 26 se obtuvieron dos variables que tienen mayor relación CPU y RAM, las mismas que se analizan y grafican con sus respectivos valores luego de las pruebas realizadas transmitiendo video de 57MB, audio de 15MB, chat, edición de presentaciones de 4,21MB y los demás servicios que provee el BBB, entre 2, 4 y 6 clientes.

Tabla 20. Consumo de CPU por el BBB al transmitir video.

| <b>CLIENTES</b> | <b>CPU % - VIDEO</b> |                   |                |              |
|-----------------|----------------------|-------------------|----------------|--------------|
|                 | <b>TOMCAT</b>        | <b>FREESWITCH</b> | <b>MONGODB</b> | <b>NGINX</b> |
| 2               | 3,77                 | 0,16              | 0,59           | 0,13         |
| 4               | 7,50                 | 0,40              | 2,73           | 0,35         |
| 6               | 10,14                | 0,84              | 5,24           | 1,94         |

Nota: Monitoreo del servidor BBB proporcionado por Dynatrace

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



La Figura 27 refleja el porcentaje de consumo de CPU del servidor BBB con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video. A través del ML-CPU se visualiza el porcentaje disponible de CPU antes de realizar las pruebas dando como resultado el 94,64%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 5,36%, dando el equivalente del 100% total de la CPU. En la Tabla 20 se observan datos del consumo de CPU de las pruebas realizadas. Existen 4 subprocesos que resaltan, Tomcat el mismo que consumió del CPU 3,77% para 2 clientes, 7,5% para 4 clientes y 10,14% para 6 clientes; Freeswitch que consumió del CPU 0,16% para 2 clientes, 0,40% para 4 clientes y 0,84% para 6 clientes; MongoDB que consumió del CPU 0,59% para 2 clientes, 2,73% para 4 clientes y 5,24% para 6 clientes y Nginx que consumió del CPU 0,13% para 2 clientes, 0,35% para 4 clientes y 1,94% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que al transmitir video el subproceso Tomcat consumió más CPU del servidor de videoconferencia que los demás subprocesos.

Tabla 21. Consumo de CPU por el BBB al transmitir audio.

| CPU % - AUDIO |        |            |         |       |
|---------------|--------|------------|---------|-------|
| CLIENTES      | TOMCAT | FREESWITCH | MONGODB | NGINX |
| 2             | 2,40   | 1,37       | 0,27    | 0,07  |
| 4             | 3,32   | 2,58       | 0,37    | 0,18  |
| 6             | 3,92   | 3,06       | 0,69    | 0,91  |

Nota: Monitoreo del servidor BBB proporcionado por Dynatrace  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

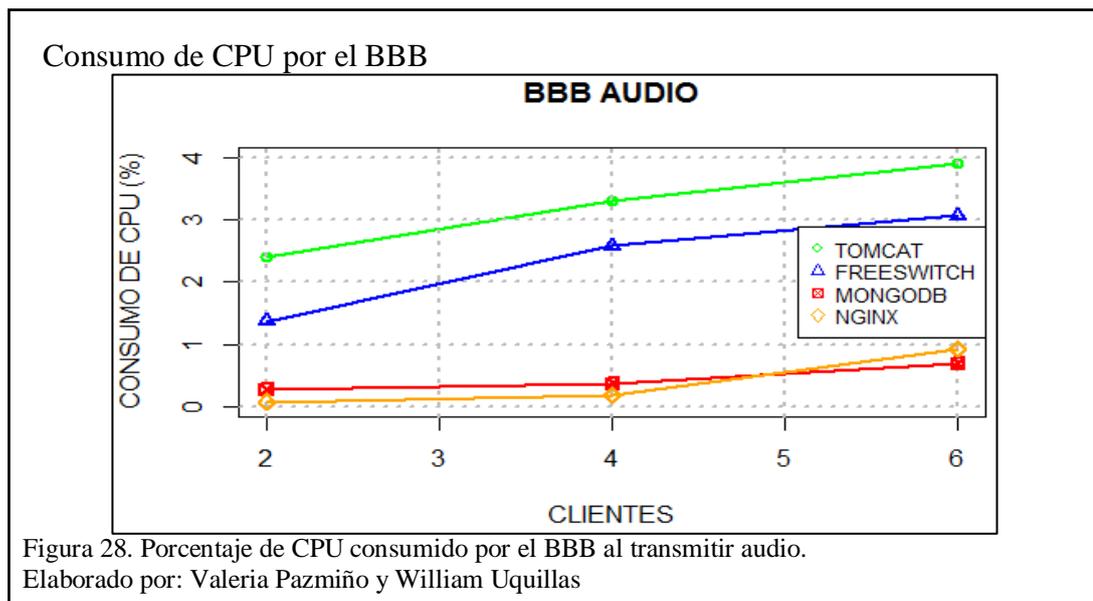


Figura 28. Porcentaje de CPU consumido por el BBB al transmitir audio.  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas

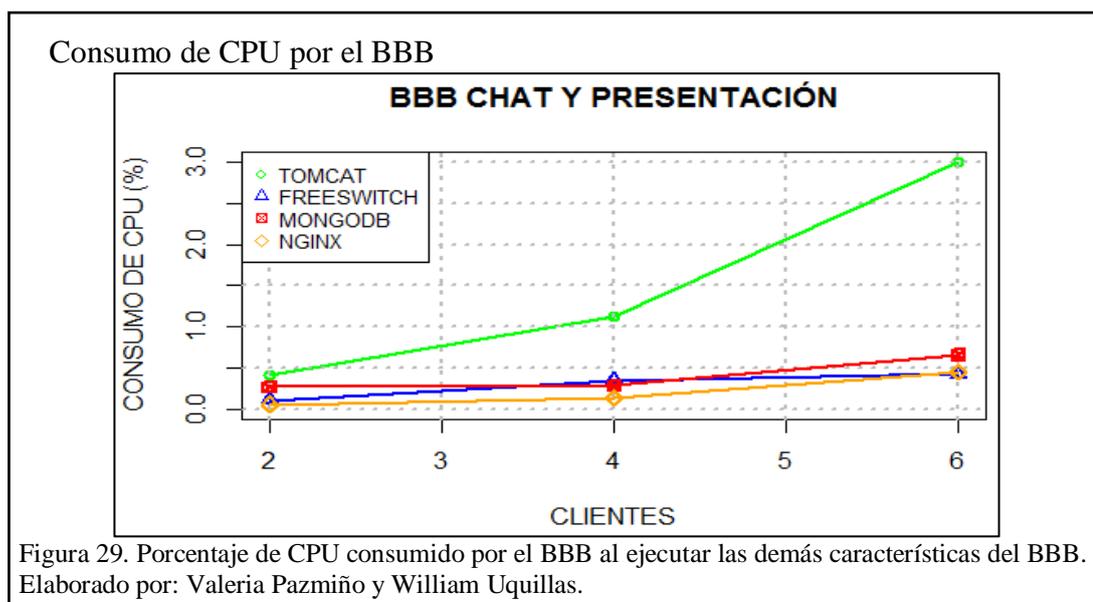
En la Figura 28 refleja el porcentaje de consumo de CPU del servidor BBB con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de audio. A través del ML-CPU se visualiza el porcentaje disponible de CPU antes de realizar las pruebas dando como resultado el 94,64%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 5,36%, dando el equivalente del 100% total de la CPU. En la Tabla 21 se observan datos del consumo de CPU de las pruebas realizadas. Existen 4 subprocesos que resaltan, Tomcat el mismo que consumió del CPU 2,40% para 2 clientes, 3,32% para 4 clientes y 3,92% para 6 clientes; Freeswitch que consumió del CPU 1,37% para 2 clientes, 2,58% para 4 clientes y 3,06% para 6 clientes; MongoDB que consumió del CPU 0,27% para 2 clientes, 0,37% para 4 clientes y 0,69% para 6 clientes y Nginx que

consumió del CPU 0,07% para 2 clientes, 0,18% para 4 clientes y 0,91% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que al transmitir audio el subproceso Tomcat consumió más CPU del servidor de videoconferencia que los demás subprocesos.

Tabla 22. Consumo de CPU por el BBB al editar una presentación.

| CPU % - CHAT Y PRESENTACIÓN |        |            |         |       |
|-----------------------------|--------|------------|---------|-------|
| CLIENTES                    | TOMCAT | FREESWITCH | MONGODB | NGINX |
| 2                           | 0,42   | 0,11       | 0,27    | 0,06  |
| 4                           | 1,12   | 0,35       | 0,28    | 0,13  |
| 6                           | 3,00   | 0,42       | 0,65    | 0,45  |

Nota: Monitoreo del servidor BBB proporcionado por Dynatrace  
Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



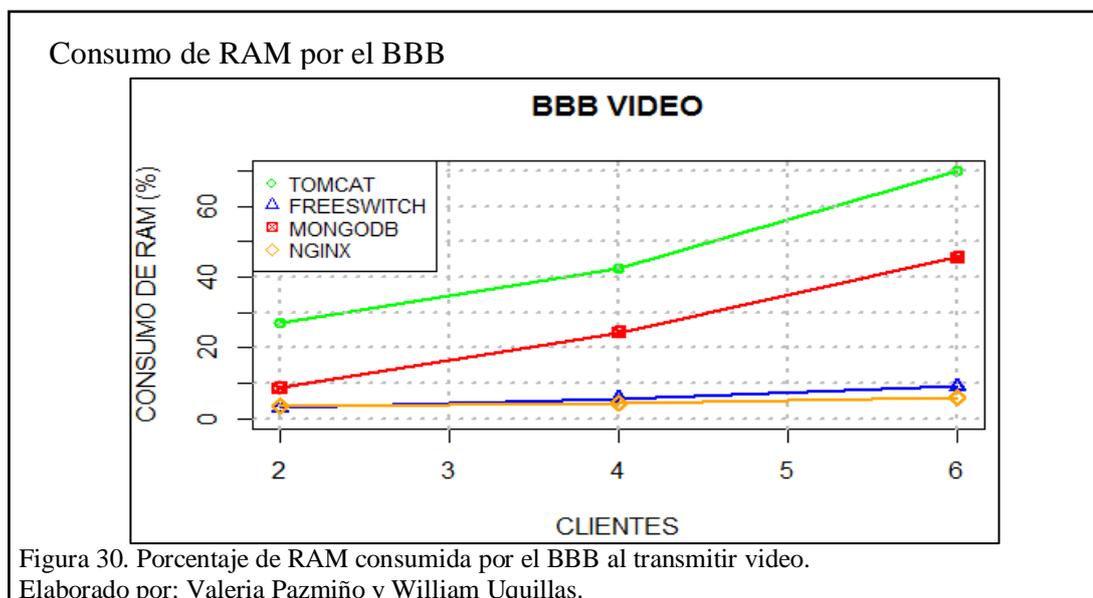
La Figura 29 refleja el porcentaje de consumo de CPU del servidor BBB con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de chat, edición de presentación y los demás servicios que proporciona el BBB. A través del ML-CPU se visualiza el porcentaje disponible de CPU antes de realizar las pruebas dando como resultado el 94,64%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 5,36%, dando el equivalente del 100% total de la CPU. En la Tabla 22 se observan datos del consumo

de CPU de las pruebas realizadas. Existen 4 subprocesos que resaltan, Tomcat el mismo que consumió del CPU 0,42% para 2 clientes, 1,12% para 4 clientes y 3,00% para 6 clientes; Freeswitch que consumió del CPU 0,11% para 2 clientes, 0,35% para 4 clientes y 0,42% para 6 clientes; MongoDB que consumió del CPU 0,27% para 2 clientes, 0,28% para 4 clientes y 0,65% para 6 clientes y Nginx que consumió del CPU 0,06% para 2 clientes, 0,13% para 4 clientes y 0,45% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que al transmitir audio el subproceso Tomcat consumió más CPU del servidor de videoconferencia que los demás subprocesos.

Tabla 23. Consumo de RAM por el BBB al transmitir video.

| RAM % - VIDEO |        |            |         |       |
|---------------|--------|------------|---------|-------|
| CLIENTES      | TOMCAT | FREESWITCH | MONGODB | NGINX |
| 2             | 26,98  | 3,08       | 8,74    | 3,52  |
| 4             | 42,64  | 5,58       | 24,39   | 4,31  |
| 6             | 70,16  | 9,15       | 45,57   | 5,99  |

Nota: Monitoreo del servidor BBB proporcionado por Dynatrace  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



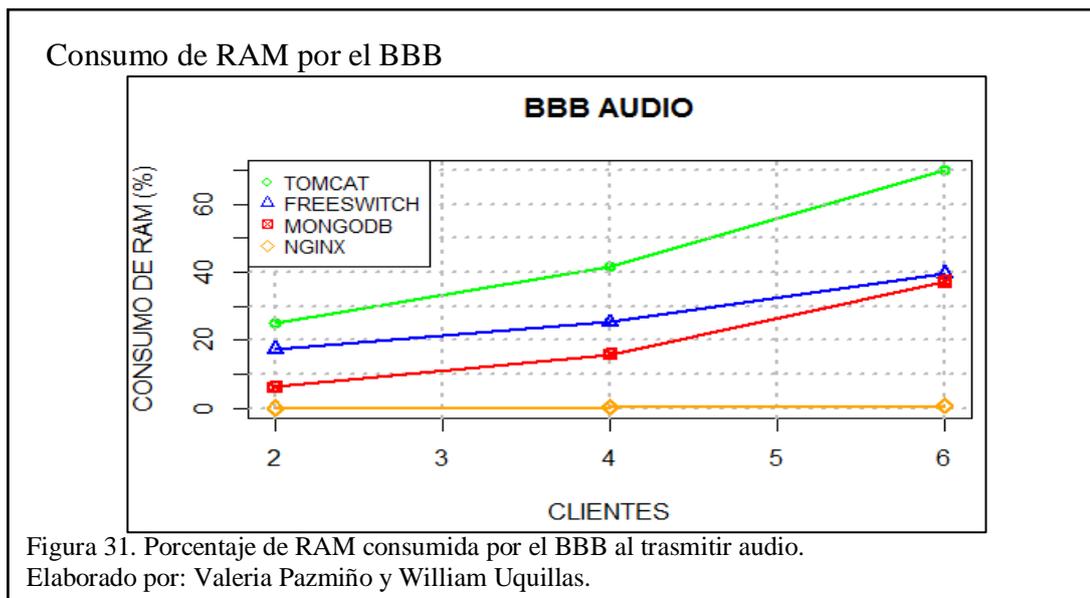
En la Figura 30 refleja el porcentaje de consumo de RAM del servidor BBB con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de video. A través del

ML-RAM se visualiza el porcentaje disponible de RAM antes de realizar las pruebas dando como resultado el 69,43%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 30,57%, dando el equivalente del 100% total de RAM. En la Tabla 23 se observan datos del consumo de RAM de las pruebas realizadas. Existen 4 subprocesos que resaltan, Tomcat el mismo que consumió de RAM 26,98% para 2 clientes, 42,64% para 4 clientes y 70,16% para 6 clientes; Freeswitch que consumió de RAM 3,08% para 2 clientes, 5,58% para 4 clientes y 9,15% para 6 clientes; MongoDB que consumió de RAM 8,74% para 2 clientes, 24,39% para 4 clientes y 45,57% para 6 clientes y Nginx que consumió de RAM 3,52% para 2 clientes, 4,31% para 4 clientes y 5,99% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que al transmitir audio el subproceso Tomcat consumió más RAM del servidor de videoconferencia que los demás subprocesos.

Tabla 24. Consumo de RAM por el BBB al transmitir audio

| <b>RAM % - AUDIO</b> |               |                   |                |              |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------|--------------|
| <b>CLIENTES</b>      | <b>TOMCAT</b> | <b>FREESWITCH</b> | <b>MONGODB</b> | <b>NGINX</b> |
| 2                    | 24,94         | 17,33             | 6,17           | 0,06         |
| 4                    | 41,48         | 25,38             | 15,80          | 0,31         |
| 6                    | 70,02         | 39,58             | 37,16          | 0,65         |

Nota: Monitoreo del servidor BBB proporcionado por Dynatrace  
 Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



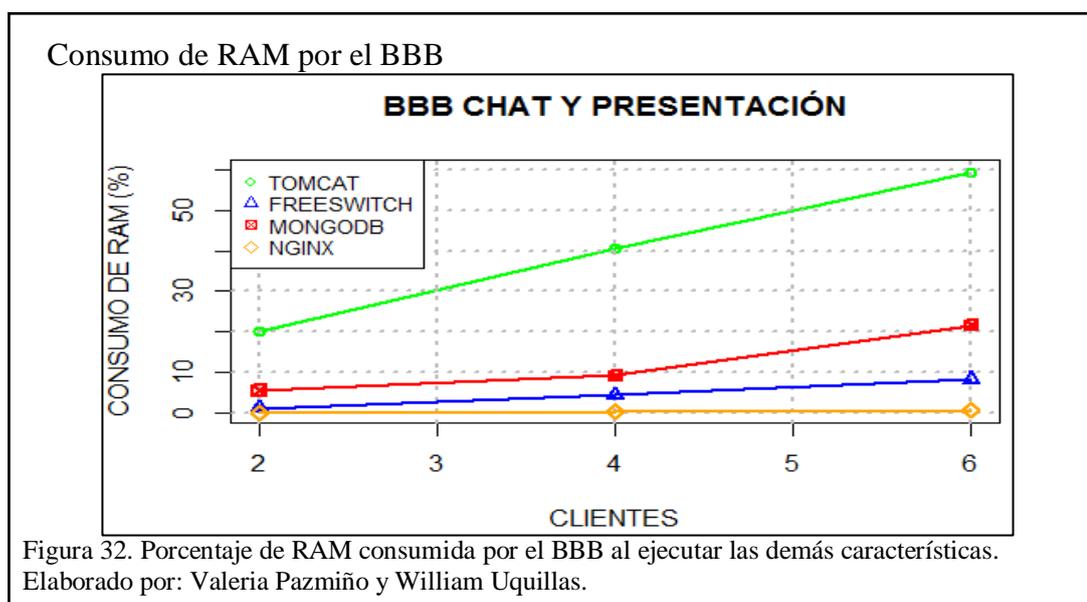
La Figura 31 refleja el porcentaje de consumo de RAM del servidor BBB con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de transmisión de audio. A través del ML-RAM se visualiza el porcentaje disponible de RAM antes de realizar las pruebas dando como resultado el 69,43%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 30,57%, dando el equivalente del 100% total de RAM. En la Tabla 24 se observan datos del consumo de RAM de las pruebas realizadas. Existen 4 subprocesos que resaltan, Tomcat el mismo que consumió de RAM 24,94% para 2 clientes, 41,48% para 4 clientes y 70,02% para 6 clientes; Freeswitch que consumió de RAM 17,33% para 2 clientes, 25,38% para 4 clientes y 39,58% para 6 clientes; MongoDB que consumió de RAM 6,17% para 2 clientes, 15,80% para 4 clientes y 37,16% para 6 clientes y Nginx que consumió de RAM 0,06% para 2 clientes, 0,31% para 4 clientes y 0,65% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que al transmitir audio el subproceso Tomcat consumió más RAM del servidor de videoconferencia que los demás subprocesos.

Tabla 25. Consumo de RAM por el BBB al editar una presentación.

| RAM % - CHAT Y PRESENTACIÓN |        |            |         |       |
|-----------------------------|--------|------------|---------|-------|
| CLIENTES                    | TOMCAT | FREESWITCH | MONGODB | NGINX |
| 2                           | 20,18  | 1,1        | 5,45    | 0,03  |
| 4                           | 40,68  | 4,28       | 9,13    | 0,30  |
| 6                           | 59,36  | 8,31       | 21,53   | 0,58  |

Nota: Monitoreo del servidor BBB proporcionado por Dynatrace

Elaborado por: Valeria Pazmiño y William Uquillas



En la Figura 32 refleja el porcentaje de consumo de RAM del servidor BBB con 2, 4 y 6 clientes los mismos que realizaron pruebas de chat, edición de presentaciones y los demás servicios que proporciona el BBB. A través del ML-RAM se visualiza el porcentaje disponible de RAM antes de realizar las pruebas dando como resultado el 69,43%; posteriormente se utiliza la Ecuación 2 para obtener el porcentaje utilizado por el sistema operativo y aplicaciones adicionales que es del 30,57%, dando el equivalente del 100% total de RAM. En la Tabla 25 se observan datos del consumo de RAM de las pruebas realizadas. Existen 4 subprocesos que resaltan, Tomcat el mismo que consumió de RAM 20,18% para 2 clientes, 40,68% para 4 clientes y 59,36% para 6 clientes; Freeswitch que consumió de RAM 1,10% para 2 clientes,

4,28% para 4 clientes y 8,31% para 6 clientes; MongoDB que consumió de RAM 5,45% para 2 clientes, 9,13% para 4 clientes y 21,53% para 6 clientes y Nginx que consumió de RAM 0,03% para 2 clientes, 0,30% para 4 clientes y 0,58% para 6 clientes. Con estos resultados se concluye que al transmitir audio el subproceso Tomcat consumió más RAM del servidor de videoconferencia que los demás subprocesos.

## CONCLUSIONES

- En la búsqueda de una aplicación de videoconferencia se ha observado que hay una gran demanda de herramientas que permitan utilizar los recursos al alcance de los usuarios finales, de esta manera una computadora o un dispositivo móvil se convierte en una potente interfaz entre el cliente y el servidor de videoconferencia, logrando realizar la compartición de ideas, apoyo en temas educativos, investigaciones y capacitaciones.
- En base a la recopilación y análisis que se realizó de las aplicaciones de videoconferencia open source, se determinó que BigBlueButton cumple con todas las características necesarias para iniciar una comunicación a bajo costo y de buena calidad como difusión multicast, integración con otros servicios open source, soporte a usuarios, escalabilidad, flexibilidad y compatibilidad con dispositivos móviles.
- Se han realizado las pruebas sobre la arquitectura prototipo con respecto al tráfico en donde se evidenció que a mayor número de clientes conectados a la misma sesión de videoconferencia, es probable que la latencia alcance valores más altos sobrepasando los  $67,53\mu s$  resultado que proporcionó la comunicación entre el BBB y la aplicación móvil.
- Se logró observar que a través de la integración que se ha realizado entre Moodle y BBB, se puede construir una sólida plataforma de aprendizaje en el cual se puede utilizar salas de videoconferencia como apoyo para estudiantes.

## RECOMENDACIONES

- Debido a que las personas están más motivadas en utilizar Smart phones en tareas cotidianas, es necesario que se diseñe un prototipo de aplicación compatible con el servidor de videoconferencia BBB, para los sistemas operativos más comunes de dispositivos móviles tales como iOS y Android.
- BigBlueButton al ser un servidor de procedencia open source permite la utilización de sus API's de video, audio y chat para la creación de nuevas plataformas web, por lo que sería ideal diseñar una nueva interfaz amigable para los usuarios comunes.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Acens. (septiembre de 2013). *Acens*. Obtenido de <https://www.acens.com/wp-content/images/2013/09/servidor-web-nginx-white-paper-acens.pdf>
- Alonso, J., Gutiérrez, D., López, V., & Torrecilla, J. (1998). *Universidad de Castilla*. Obtenido de <https://previa.uclm.es/profesorado/ricardo/webnntt/Bloque%201/Hard.htm>
- Apache Software Foundation. (23 de febrero de 2018). *Apache Openmeetings*. Obtenido de <https://openmeetings.apache.org/>
- Aspee, A., & Chorlango, J. (2012). *Implementacion de un servidor para videoconferencia conectado a un grid de procesamiento a traves de la red avanzada....*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Baugher, M. (marzo de 2004). *IETF*. Obtenido de <https://tools.ietf.org/html/rfc3711>
- BigBlueButton. (2015). *BigBlueButton Open Source Web Conferencing*. Obtenido de <http://docs.bigbluebutton.org/>
- Broadmoor, J. (01 de febrero de 2018). Desventajas de la videoconferencia. *Geniolandia*. Obtenido de <https://www.geniolandia.com/13102142/desventajas-de-la-videoconferencia>
- Buytaert, D. (11 de mayo de 2011). *Drupal*. Obtenido de <https://www.drupal.org/>
- Cáceres, J. (21 de junio de 2004). *Observatorio Tecnológico*. Obtenido de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/software/servidores/193-analizando-flash-communication-server>
- Čandrić, G. (10 de marzo de 2014). *Globaldots*. Obtenido de <https://www.globaldots.com/rtmp-real-time-messaging-protocol-explained-2/>
- Carrasco, F. (23 de septiembre de 2014). El impacto de la videoconferencia en los negocios latinoamericanos. *CIO America Latina*. Obtenido de <http://www.cioal.com/2014/09/23/el-impacto-de-la-videoconferencia-en-los-negocios/>
- Carrillo, J. (2015). *Implementación de un servicio de webconference para dos sedes de una empresa utilizando técnicas de routing y switching*. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- Carroll, J. (10 de Junio de 1999). *beatriceco*. Obtenido de <http://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/telephones-picturephone.html>
- Casado, R. (1999). Reconfiguración en Redes Locales de Altas Prestaciones. En P. Cuenca , & R. Puigjaner, *Tendencias en redes de altas prestaciones* (pág. 45). Universidad de Castilla-La Mancha, España.
- cavsi. (2012). *Cavsi*. Obtenido de <http://www.cavsi.com/preguntasrespuestas/cuales-son-las-modalidades-de-videoconferencia/>
- Cedia. (2017). *Cedia*. Obtenido de Red Avanzada: <https://www.cedia.edu.ec/es/servicios/tecnologia/conectividad/red-avanzada>
- Centro de apoyo tecnologico de Castilla-La Mancha. (2017). *bilib*. Obtenido de <https://www.bilib.es/recursos/catalogo-de-aplicaciones/ficha-de-aplicacion/appctrl/show/app/bigbluebutton/>
- Chacon Medina, A. (diciembre de 2003). La videoconferencia: conceptualizacion, elementos y uso educativo. *Eticanet(2)*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~sevimeco/revistaeticanet/Numero2/Articulos/La%20videoconferencia.pdf>

- Cortes, P. (2010). *Videoconferencia*. Universidad de Concepcion de Chile. Obtenido de <http://www2.udec.cl/~pacortes/tarea2.htm#histo>
- Diaz Ordoñez, J. C. (2013). *Análisis comparativo de herramientas para videos conferencias en aulas virtuales de la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Díaz, M. (12 de enero de 2015). *hipertextual*. Recuperado el 03 de marzo de 2018, de <https://hipertextual.com/2015/01/jitsi-meet-videollamada-segura>
- Distrito Tecnológico CABA. (21 de mayo de 2018). *Entornos*. Obtenido de <https://www.entornos.net/>
- Escamilla, E. (2008). *Study Lib*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/5487360/ventajas-y-desventajas-de-las-videoconferencias>
- Farmer, G. (2015). *3CX*. Obtenido de <https://www.3cx.es/videoconferencia-web/>
- Feditic, E. (9 de abril de 2012). *slideshare*. Recuperado el 02 de 02 de 2018, de <https://es.slideshare.net/feditic/que-es-una-videoconferencia>
- Gerencia. (Abril de 2005). Videoconferencia, llegó el tiempo de su masificación. *Emb*. Obtenido de <http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=2505&edi=47&xit=videoconferencia-llego-el-tiempo-de-su-masificacion>
- Goldstein, P. (01 de febrero de 2017). *att picturephone helped usher video conference era*. *BizTech*. Obtenido de <https://biztechmagazine.com/article/2017/02/att-picturephone-helped-usher-video-conference-era>
- Grimaldo, F., Fuertes, A., Cobos, M., Arevalillo, M., Perez, C., Moreno, P., & Ferris, R. (2014). En *BigBlueButton, una alternativa de código abierto para la comunicación interactiva en actividades educativas* (pág. 77). Universidad de Valencia, España.
- Gutierrez, F. (25 de febrero de 2014). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ficogutierrez/caracteristicas-de-openmeetings>
- Íñigo, J., & Barceló, J. (Diciembre de 2008). Conceptos basicos de redes de computadores. En J. Íñigo, & J. Barceló, *Estructura de Redes de Computadores* (pág. 13). Barcelona: UOC.
- Jansen, B. (25 de agosto de 2016). *Performance Analysis of WebRTC-based Video Conferencing*.
- Jaramillo Ojeda, D. (julio de 2011). *Videoconferencia multipunto con herramientas de software libre como apoyo al proceso de enseñanza de la carrera de ingeniería de sistemas*. Escuela Politécnica del Ejercito ESPE, Sangolqui, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 2 de marzo de 2018
- Jitsi. (2013). *GitHub*. Obtenido de <https://github.com/jitsi/>
- Jitsi Meet. (2015). *Jitsi*. Obtenido de <https://jitsi.org/what-is-jitsi/>
- Jitsi org. (2017). *Demo*. Obtenido de <https://meet.jit.si/>
- Marcello, A. (01 de Diciembre de 2014). Evolución de la videoconferencia: hacia un modelo de negocio virtual que llegue a todo tipo de empresas. *Digital AV Magazine*. Obtenido de <https://www.digitalavmagazine.com/2014/12/01/evolucion-de-la-videoconferencia-ya-no-es-solamente-para-los-grandes-consumidores/>
- Marilin. (16 de julio de 2012). *hipertextual*. Obtenido de <https://hipertextual.com/archivo/2012/07/codecs-ventajas-desventajas-diferentes-tipos/>
- Martinez, C. Y. (02 de Mayo de 2016). *TechClub Tajamar*. Obtenido de <https://techclub.tajamar.es/unicast-multicast-broadcast/>

- Matijašević, M., & Dobrijević, O. (2005). *Open Source Tools for Multimedia Desktop Conferencing and Media Streaming over IPv6: Comparison Criteria and Survey*. University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Croacia. Obtenido de [https://labust.fer.hr/images/50008067/MIPRO2005\\_OpenSourceToolsForMmDesktopConferencAndMediaStreamOverIPv6-ComparisonCriteriaAndSurvey.pdf](https://labust.fer.hr/images/50008067/MIPRO2005_OpenSourceToolsForMmDesktopConferencAndMediaStreamOverIPv6-ComparisonCriteriaAndSurvey.pdf)
- Meteor. (2013). *Meteors developers*. Obtenido de <https://docs.meteor.com/#/full/>
- Mora, P. (2011). *Implementación de un sistema de transferencia de datos, audio y videoconferencia sobre internet 2 utilizando herramientas de software libre, para el quirófano móvil su conexión con las instalaciones del área de la salud humana de la Universidad de Loja*. Universidad de Loja.
- Morales Cordero, C. (2012). *El uso de la plataforma Moodle con los recursos de la Web 2.0 y su relación con las habilidades del pensamiento crítico en el sector de historia, geografía y ciencias sociales*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Omicrono. (26 de Febrero de 2016). Picturephone, el precursor de Skype y FaceTime que nació en los años 30. *Omicromo*. Obtenido de <https://omicrono.espanol.com/2016/02/picturephone-el-precursor-de-skype/>
- Pandora FMS. (2018). *Pandora FMS Monitoring*. Obtenido de [https://wiki.pandorafms.com/index.php?title=Pandora:Documentation\\_es:Operacion](https://wiki.pandorafms.com/index.php?title=Pandora:Documentation_es:Operacion)
- Pinos Castillo, L. F. (2014). *Análisis comparativo sobre alternativas para sistemas de videoconferencia interactiva en internet caso de estudio Universidad Católica de Cuenca*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Prosody IM. (18 de enero de 2019). *Prosody*. Obtenido de <https://prosody.im/>
- Quiñonez, J. D. (27 de 02 de 2012). *wwwwhat's new*. Obtenido de <http://wwwwhatsnew.com/2012/02/27/10-interesantes-aplicaciones-para-videoconferencias-y-reuniones-online/>
- Ramirez, M. (2008). *Redes académicas de alta velocidad y tecnología avanzada como recurso para la investigación y el desarrollo regional*. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- RedClara. (octubre de 2018). *Red Clara*. Obtenido de <https://www.redclara.net/index.php/en/red/redclara/topologia-actual-de-la-red>
- Ríos, L. (2010). *Universidad Nacional del Nordeste*. Obtenido de <http://exa.unne.edu.ar/informatica/redes-ap/apuntesAlumnos/Tema1Introduccion.pdf>
- Robalino, G., & Rodríguez, A. (2011). *Estudio comparativo de aplicaciones software para video streaming y pasarelas en servicios de videoconferencia para la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Rosenberg, J. (junio de 2002). *ietf*. Obtenido de <https://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>
- Ruano, V. (2016). *slideplayer*. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/3562167/>
- Sakai Project. (26 de octubre de 2010). *Sakai*. Obtenido de <https://www.sakaiproject.org/>
- Sang Woo, H., & Jongwon, K. (2004). En *High-Quality Video Services for the Access Grid* (pág. 7). Gwangju Institute of Science & Technology (GIST), Korea.
- Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., & Jacobson, V. (julio de 2003). *ietf*. Obtenido de <https://tools.ietf.org/html/rfc3550>
- Suárez Alonso, F. (2010 - 2011). *UNIVERSIDAD DE OVIEDO*. Obtenido de <http://www.atc.uniovi.es/teleco/5tm/archives/8streaming.pdf>

- Tecnología e Informática. (2016). *Tecnología e Informática*. Obtenido de <https://tecnologia-informatica.com/instalar-codecs-audio-video/>
- Universidad de Alicante. (29 de Marzo de 2013). *Universidad de Alicante*. Obtenido de Servicio de Informática: <https://si.ua.es/es/videoconferencia/tipos-de-videoconferencias.html>
- Universidad de Medellín. (2015). *Universidad de Medellín*. Obtenido de Redes de Alta Velocidad:  
<http://apps.udem.edu.co/AyudasInformaticas/RedesDeAltaVelocidad.pdf>
- Villacrés Suarez, W. H. (2010). *Estudio comparativo de plataformas alternativas de videoconferencia basadas en software en el Backbone de la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Web Empresa. (21 de diciembre de 2015). *WordPress*. Obtenido de <https://www.webempresa.com/wordpress/que-es-wordpress.html>
- Weinstein, I. M., & Nilssen, A. (febrero de 2013). *Polycom*. Obtenido de <http://www.polycom.com/content/dam/polycom/common/documents/whitepapers/wainhouse-the-real-benefits-of-video-wp-esla.pdf>
- Znaty, S., Dauphin, J.-L., & Geldwerth, R. (2005). *efort*. Obtenido de [http://www.efort.com/media\\_pdf/SIP\\_ESP.pdf](http://www.efort.com/media_pdf/SIP_ESP.pdf)

## **ANEXOS**

**ANEXO 1** - Guía de instalación del experimento 1 (Jitsi Meet)

**ANEXO 2** - Guía de instalación del experimento 2 (BigBlueButton)

**ANEXO 3** - Código de matrices y gráficas en Rstudio

Nota: Los anexos de este trabajo están disponibles en el CD.