

Universidad de las Ciencias Informáticas



**Esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema
de gestión documental de archivos de audio y vídeo
digitales TeVeo Plus v1.0**

**Trabajo de diploma para optar por el título de ingeniero en ciencias
informáticas**

Autor:

Eriberto Felipe Peña Rodríguez

Tutores:

Ing. Álvaro Luis Padilla Moya

Ing. Yasel Almenares Alfonso

La Habana, Julio de 2013



Sin trabajo no hay talento excepcional ni genios.

Dimitri Ivánovich Mendeléiev

Declaración de autoría

Declaro por este medio que yo, Eriberto Felipe Peña Rodríguez, soy el autor de la tesis titulada “Esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales TeVeó Plus v1.0”; y autorizo a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso de la misma en su beneficio, así como los derechos patrimoniales de la misma con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los ____ días del mes de _____ del año 2013.

Autor: Eriberto Felipe Peña Rodríguez

Tutor: Ing. Álvaro Luis Padilla Moya

Tutor: Ing. Yasel Almenares Alfonso

Dedicatoria

A mi mamá Baby, “mi mayor inspiración y más grande amor”, por ser la artífice principal de quién y cómo soy; sin la cual esta y otras muchas obras mías no hubiera sido posible.

A mi abuela Hilda, “mi niña”, que en cualquier lugar donde se encuentre, estoy seguro de que está muy orgullosa de mí.

A mi papá Lolo, “el General”, por estar siempre firme asegurando la retaguardia.

Agradecimientos

Muy especialmente a mi mamá y papá, por apoyarme siempre y por tanto amor y comprensión.

A los que realmente me han demostrado ser verdaderos amigos durante estos años en la universidad.

A mis parientes, de sangre o no, pero sí de “corazón”, que siempre han estado ahí cuando he necesitado ayuda.

A aquellos conocidos, vecinos, compañeros y amigos que me admiran y elogian sinceramente, sin adulaciones ni lisonjas, pues aunque no lo sepan también han contribuido.

A mis tutores, profesores, y a todo aquel que de algún modo me apoyó y ayudó en algún momento para que este sueño se hiciera realidad.

Resumen

Dadas las características de alto consumo de recursos de hardware que presenta el sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales TeVeo Plus v1.0, así como los altos volúmenes de peticiones concurrentes de los que puede ser objeto en determinados momentos se hace necesario que se asegure de alguna manera la alta disponibilidad de dicho sistema. En el presente trabajo se realiza un estudio de los conceptos, herramientas y sistemas, relacionados con los esquemas de alta disponibilidad y balanceo de carga de aplicaciones web. Se propone un diseño de esquema de alta disponibilidad para el núcleo de la Mediateca Digital TeVeo Plus v1.0, basado en tecnología *clustering* y replicación. La propuesta de solución es validada mediante el método *Delphi* de panel de expertos.

Palabras claves: Clúster, continuidad operacional, alta disponibilidad, balanceo de carga, sistema de gestión documental, Gestor de contenidos empresariales Alfresco.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Marco conceptual y fundamentación teórica para el desarrollo del esquema de alta disponibilidad	8
1.1 Alta disponibilidad.....	8
1.2 Balanceo de carga.....	9
1.2.1 Ventajas de balancear la carga	9
1.2.2 Tipos de balanceador de carga	10
1.2.3 Métodos de distribución de carga.....	11
1.2.4 Algoritmos de planificación (Scheduling).....	11
1.3 Clúster	13
1.3.1 Tipos de clúster.....	14
1.4 Sistemas homólogos	15
1.4.1 En Cuba.....	16
1.5 ECM Alfresco	18
1.5.1 TeVeo Plus como una personalización del ECM Alfresco	19
1.6 Sistema gestor de bases de datos PostgreSQL	20
1.7 Herramientas para lograr alta disponibilidad y balanceo de carga	20
1.7.1 Proxy Squid	21
1.7.2 Proxy Varnish.....	22
1.7.3 LVS.....	22
1.7.4 Ldirectord.....	23
1.7.5 Keepalived	23
1.7.6 Pgpool-II	24

1.7.7 Heartbeat	25
1.7.8 Selección de herramientas para el balanceo de carga y la alta disponibilidad.....	26
1.8 Tecnologías para el almacenamiento en red.....	26
1.8.1 SAN	26
1.8.2 NAS	27
1.8.3 Plataformas de almacenamiento	27
1.8.4 Selección de herramienta para el almacenamiento compartido	30
1.9 Sistema operativo.....	30
1.9.1 Ubuntu	31
1.9.2 Nova	31
1.9.3 Debian	32
1.9.4 Cuadro comparativo de sistemas operativos.....	32
1.9.5 Selección del sistema operativo a utilizar	34
1.10 Conclusiones del capítulo.....	34
Capítulo 2. Propuesta de solución y aspectos claves para su implementación	35
2.1 Descripción de la propuesta de solución	35
2.2 Particularidades del consumo de recursos de hardware debido a las características de la solución propuesta	37
2.2.1 Requerimientos de Hardware recomendados	37
2.2.2 Requerimientos de Software	38
2.3 Diseño de la solución	39
2.3.1 Sección de clúster web (Alfrescos y balanceadores de carga)	39
2.3.2 Sección de base de datos	43
2.3.3 Sección de almacenamiento compartido.....	43
2.3.4 Continuidad operacional del sistema y alta disponibilidad de servicios en condiciones adversas	44

2.4 Conclusiones del capítulo.....	46
Capítulo 3. Validación de la solución propuesta.....	47
3.1 Método <i>Delphi</i> de validación.....	47
3.2 Fases del proceso de validación con <i>Delphi</i>	49
3.2.1 Elección de los expertos.....	49
3.2.2 Elaboración del cuestionario de validación de la propuesta.....	51
3.2.3 Establecimiento de la concordancia de los expertos.....	53
3.2.4 Calculo del coeficiente de Kendall para la validación de la propuesta	55
3.3 Conclusiones del capítulo.....	57
Conclusiones generales.....	58
Recomendaciones	59
Referencias bibliográficas	60
Anexos.....	64
Anexo 1: Encuesta de autovaloración para determinar el coeficiente de competencia de los expertos.....	64
Anexo 2: Cuestionario para la validación de la propuesta de solución.....	65
Anexo 3: Tablas de frecuencias de las con las respuestas de los expertos.....	68
Anexo 4: Cálculo del coeficiente de concordancia de Kendall	70
Anexo 5: Tabla de valores de distribución Chi.....	73

Introducción

Desde la antigüedad el hombre ha creado máquinas y herramientas que lo ayuden en su quehacer cotidiano. Históricamente el surgimiento de algunas de estas ingeniosas invenciones ha marcado hitos importantes en el desarrollo de la sociedad humana. Este desarrollo siempre ha estado estrechamente relacionado con el volumen de información generado y manejado por los hombres. Tal es así que un invento como el de los tipos móviles para imprentas ideado por *Gutenberg* en el siglo XV, trajo consigo que la impresión de libros fuera mucho más fácil, generando una verdadera explosión cuantitativa en la producción de libros y por consiguiente en la difusión del conocimiento. Esta innovación tecnológica también dejó las puertas abiertas a otros avances que contribuyeron a mejorar características relacionadas con el proceso de edición y distribución de materiales impresos (Veiga de Cabo, 2003).

Hoy en día el hombre cuenta con un amplio arsenal de herramientas de todo tipo y sin duda los sistemas de cómputo tienen un lugar privilegiado. En los últimos años, los avances en campos como la electrónica, la nanotecnología y los materiales han permitido crear y mejorar los equipos de cómputo, que a su vez han contribuido al crecimiento en forma exponencial del volumen de conocimiento acumulado, así como de los distintos formatos y medios de almacenamiento. Según el informe de 2008 de la *International Data Corporation (IDC)*¹, la cantidad de información digital creada en 2008 creció un 3% más rápido, 16 millones de *Gigabytes*, comparado con las anteriores previsiones de IDC. También se espera que el Universo Digital duplique su tamaño cada 18 meses. En 2012 se habría multiplicado por cinco (respecto a 2008). Este estudio, que se publica por tercer año consecutivo, mide y predice la cantidad y tipo de información digital creada y copiada en el mundo. El Universo Digital alcanzó en 2008 487 000 millones de *Gigabytes*, el equivalente a 30.000 millones de *Apple iPod Touches*, o 19.000

¹ Compañía que hace estudios de Internet.

millones de *DVDs Blu-ray* totalmente cargados, o 162 billones de fotos digitales (Financial Tech Magazine, 2009).

Este vertiginoso aumento de volumen hace necesario el uso de las nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), especialmente los sistemas automatizados de gestión y manejo de contenidos, para administrar adecuadamente la información generada en centros, empresas y organizaciones. A los sistemas desarrollados para estos fines se les denomina Sistemas de Gestión Documental y archivística (SGD) y son ampliamente utilizados en todo el mundo. Estos SGD generalmente son software que reúnen un grupo de funcionalidades encaminadas a buscar eficacia en la producción, el mantenimiento, uso y destino final de los archivos de gestión durante el proceso de cambios del que son objeto, desde el momento en que son creados en las oficinas administrativas, departamentos de trabajo o áreas productivas, hasta su ingreso en el área de almacenamiento de la institución a la cual pertenezcan.

Dentro de las aplicaciones de este tipo se destaca el *Enterprise Content Management Alfresco* (Alfresco). Este software, como especifican sus desarrolladores, “es una plataforma de contenido empresarial que ayuda a almacenar y compartir los documentos de los que cualquier empresa depende” (Alfresco Software, 2013). Alfresco sigue la filosofía de código abierto, lo que brinda a los usuarios la posibilidad de desarrollar y mejorar componentes. Debido al alto número de facilidades con las que cuenta, para la gestión documental e integración con otros sistemas, se ha ganado un lugar especial dentro de los SGD.

Por otro lado, en el discurso del Comandante en Jefe, dedicado a la primera graduación de la Universidad de la Ciencias Informáticas (UCI), queda claramente expuesto que la dirección del país es consciente de la importancia del uso de las TIC en disímiles esferas de la sociedad y economía cubanas, para impulsar el desarrollo. Dado ese interés, se ha planteado a los distintos organismos del estado, la tarea de informatizar la sociedad cubana. Gracias a esta política de informatización, numerosas

instituciones cubanas, cuentan hoy con sistemas de gestión de la información digitalizados o planes para automatizar de alguna manera sus mecanismos. La prensa no ha escapado a esa tendencia y ha solicitado la colaboración de la UCI para llevar a cabo su Proceso de Informatización.

Es por esa razón que en mayo de 2009 surge el proyecto Gestión Documental para la Prensa (GDPrensa), como parte del Programa de Informatización de la Prensa en la Universidad de las Ciencias Informáticas (PIP) (Centro CIDI, 2009). Este proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo de aplicaciones que se adapten a las necesidades de los medios de prensa cubanos, mediante el empleo de sistemas de gestión y el desarrollo de módulos y servicios que permitan personalizar estos sistemas de acuerdo a las necesidades de cada cliente en específico. Entre los productos desarrollados por el proyecto GDPrensa se encuentra Fototeca Digital v1.0, la cual está diseñada para la manipulación de imágenes digitales. La interfaz de esta aplicación se comunica, mediante servicios web², con un núcleo Alfresco adecuadamente configurado para cumplir este objetivo.

Dentro de los intereses del programa de informatización para la prensa está también el manejo de archivos de audio y vídeo digitales. Desde 2010 se ha venido trabajando en la conceptualización y desarrollo de un producto que materialice esta idea. En este sentido, el proyecto GDPrensa está desarrollando una aplicación denominada TeVeo Plus, la cual es similar arquitectónicamente a Fototeca Digital v1.0, pero adaptada a la gestión de archivos de audio y vídeo digitales.

El Alfresco cuenta con múltiples facilidades para la gestión de contenidos de todo tipo pero tiene como desventaja principal que al aumentar el número de peticiones concurrentes de las que puede ser objeto, aumenta considerablemente la demanda de recursos de hardware. Los desarrolladores y especialistas

² Un servicio web es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Los servicios web tienen múltiples ventajas dentro de las que se cuentan la interoperabilidad entre aplicaciones independientemente de sus propiedades o de las plataformas sobre las que se instalen; fomentan los estándares y protocolos basados en texto, que hacen más fácil acceder a su contenido y entender su funcionamiento (W3C, 2010).

del Centro de Ideoinformática (CIDI), al cual pertenece el proyecto GDPrensa, han especificado que debido a que la base de TeVeo Plus es un núcleo Alfresco que maneja archivos de audio y vídeo, el sistema TeVeo Plus, será un alto consumidor de recursos de hardware, haciéndose necesaria su instalación en máquinas de considerable poder de procesamiento para garantizar su correcto funcionamiento. Esta situación entra en conflicto con el hecho de que, según el informe de 2009 del programa de informatización para la prensa, el hardware del que se dispone en los Medios de Comunicación Masiva cubanos (MCM) es de medianas y bajas prestaciones (Centro CIDI, 2009). En caso de ser instalado TeVeo Plus en esas condiciones, los tiempos de respuesta a las peticiones serían demasiado altos, al igual que la posibilidad de fallos, caídas del sistema o incluso fallos de software o hardware, que pudieran causar pérdidas irremediables de información importante.

Un aspecto a señalar es que en los MCM, los archivos de audio y vídeo son constantemente consultados, distribuidos y compartidos por los usuarios, lo que genera un alto número de peticiones concurrentes. De no ser implementada alguna solución que haga un manejo adecuado de este gran cúmulo de peticiones, se generarían sobrecargas e incluso colapso de los servidores, privando al MCM del acceso oportuno a su información y entorpeciendo o imposibilitando su función social.

La importante labor social, así como el amplio y valioso fondo archivístico con el que cuentan algunos de los clientes potenciales, da una medida de cuán altas deben ser en TeVeo Plus la tolerancia a fallos y la disponibilidad, por lo que se hace necesario garantizarlas de alguna manera. En contraposición a esto está el hecho de la alta demanda de recursos de hardware que presentará el sistema y los grandes volúmenes de peticiones concurrentes del que puede ser objeto en momentos determinados. Para evitar estos problemas, lo ideal sería instalar sistemas altos consumidores de recursos de hardware como TeVeo Plus en modernas computadoras con gran capacidad de procesamiento, pero estas suelen tener precios muy elevados en el mercado internacional. Se hace necesario entonces buscar una solución óptima por software para lograr que el sistema se encuentre disponible las 24 horas, permita dar

solución a la demanda cada vez más creciente en los MCM y soporte los picos de conexiones máximos concurrentes.

Por lo antes expuesto, surge el siguiente **problema de la investigación**: ¿Cómo lograr continuidad operacional en el núcleo del sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales: TeVeo Plus v1.0? Se plantea además como **objetivo general**: Desarrollar un esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales: TeVeo Plus v1.0 de forma tal que su despliegue permita realizar un procesamiento distribuido y asegure la continuidad operacional. Este objetivo general se desglosa en los siguientes **objetivos específicos**:

- Describir las tendencias y los conceptos relacionados con los esquemas para el balance de carga y alta disponibilidad de aplicaciones web.
- Diseñar arquitectónicamente el esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema TeVeo Plus v1.0.
- Implementar el esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema TeVeo Plus v1.0.
- Validar el esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema TeVeo Plus v1.0.

Para la resolución de los mismos se plantean las **tareas de la investigación**:

- Caracterización de las tendencias actuales en el balance de carga y alta disponibilidad de aplicaciones Web.

- Selección de las tecnologías, herramientas, estándares, patrones y metodologías necesarias para el desarrollo del esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema TeVeo Plus v1.0.
- Identificación de los requerimientos del esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema TeVeo Plus v1.0.
- Elaboración del marco arquitectónico del esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales TeVeo Plus v1.0.
- Implementación del esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales TeVeo Plus v1.0.
- Validación del esquema de alta disponibilidad para el núcleo del sistema TeVeo Plus v1.0.

Se espera obtener como **resultado**: Un esquema de alta disponibilidad para el sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales TeVeo Plus v1.0 que permita balancear, replicar y brindar un servicio bajo demanda de sus usuarios concurrentemente. Como **objeto de estudio** se plantean: Los clústeres de balanceo de carga y alta disponibilidad, y como **campo de acción**: el esquema de alta disponibilidad para el sistema de gestión documental de archivos de audio y vídeo digitales. Durante el desarrollo del presente trabajo se emplearon los métodos científicos:

Histórico-Lógico: Fundamentalmente en el estudio de los antecedentes históricos, nacionales e internacionales, de sistemas, tecnologías e investigaciones que contribuyen a resolver problemas similares al propuesto; todo esto en aras de facilitar la comprensión de los temas abordados a lo largo del trabajo.

Analítico-Sintético: Mayormente en el análisis del marco teórico conceptual, así como los antecedentes históricos, con el objetivo de arribar a conclusiones, para crear una propuesta de solución conveniente a la problemática planteada.

Entrevista: En la validación de la propuesta.

Este trabajo de diploma está dividido en tres capítulos que se caracterizan a continuación.

Capítulo 1: Resume el marco teórico-conceptual del trabajo. Se especifican numerosos conceptos y se describen las diferentes tecnologías y software estudiados, con el objetivo de seleccionar los apropiados para diseñar la propuesta de solución.

Capítulo 2: Describe el diseño del clúster propuesto como solución y se especifican los aspectos clave, necesarios para el despliegue y configuración del mismo.

Capítulo 3: Describe las características del método de validación seleccionado. Se detalla paso a paso el proceso y se muestran los resultados obtenidos.

Capítulo 1. Marco conceptual y fundamentación teórica para el desarrollo del esquema de alta disponibilidad

En la actualidad las organizaciones dependen cada vez más de sus sistemas de información. Es una tendencia en crecimiento que muchas entidades implementen sus procesos críticos sobre sistemas informáticos. Se desea que estos sistemas sean seguros y permanezcan disponibles el mayor tiempo posible. Los medios de prensa cubanos, desde hace algunos años, son objeto de un proceso de informatización intensivo. Para cualquier empresa, una interrupción de sus sistemas de información supone un serio problema. En el caso de los medios de prensa, este asunto adquiere una gran connotación, ya que algunos cuentan con un patrimonio documental y archivístico histórico amplio. Otros medios de prensa, como es el caso de los periódicos provinciales, constituyen los órganos oficiales locales de organizaciones políticas como el Partido Comunista de Cuba (PCC). Todo esto hace que sea de suma importancia la alta disponibilidad y el buen desempeño de los mismos.

1.1 Alta disponibilidad

La disponibilidad es el grado en que una aplicación o servicio está funcionando cuando y como esperan los usuarios a los que está dirigido. Puede entenderse como alta disponibilidad de un servicio o aplicación de red, el hecho de prestarlo ininterrumpidamente y con relativa independencia del hardware que lo sustenta. Se consigue alta disponibilidad redundando los sistemas, ó implementando algún tipo de arquitectura de *clustering*³ (Martínez Jiménez y otros, 2003). La alta disponibilidad se mide por la percepción de una aplicación del usuario final. Esto se refiere al mayor porcentaje de tiempo posible que los mismos funcionan correctamente y por eso los sistemas que aseguran alta disponibilidad implementan mecanismos para cumplir con esta premisa. En sistemas que aseguran alta disponibilidad,

³ Arquitectura en la que se interconectan varios componentes informáticos, con el objetivo de disponer de un sistema de gran nivel de procesamiento, elevando la eficiencia para cumplir una determinada tarea.

el balanceo de carga es también un aspecto clave y en ocasiones contribuye decisivamente al aseguramiento de la misma.

1.2 Balanceo de carga

Balance o balanceo de carga, en informática se refiere a un conjunto de técnicas y configuraciones implementadas en un sistema con el objetivo de compartir el trabajo a realizar entre varios procesos, ordenadores, discos u otros recursos. Está íntimamente ligado a los sistemas de procesamiento distribuido, o que hacen uso de más de una unidad de procesamiento para realizar labores útiles.

Tal y como plantea (Martínez Jiménez y otros, 2003), el balanceador de carga es el dispositivo de red que se ubica entre los clientes y los servidores, centralizando la recepción de peticiones. Este se limitará a reenviar las peticiones a los servidores reales, que son los encargados de procesarlas y de tomar las decisiones de reenvío de peticiones en función de un algoritmo de planificación (*scheduling*) determinado. El método de reenvío puede implementarse de varias formas en función de la arquitectura de red disponible para comunicar a los servidores reales con el balanceador de carga.

1.2.1 Ventajas de balancear la carga

El hecho de distribuir el trabajo entre diferentes máquinas permite que la capacidad de carga del servidor virtual sea muy superior a la que tendría un sólo servidor real. Además, con el balanceador de carga se logra escalabilidad, disponibilidad, facilidad de mantenimiento, seguridad y calidad de servicio (García Berdayes, 2008).

1.2.2 Tipos de balanceador de carga

Los balanceadores de carga se pueden clasificar dentro de cuatro grandes grupos: los balanceadores de carga para servidores (***server load balancing***), los balanceadores de carga para *firewalls* (***firewall load balancing***), los balanceadores de caches (***cache load balancing***) y los balanceadores de carga entre sistemas servidores remotos (***global server load balancing***) (Garcia Berdayes, 2008).

Balanceadores de carga para servidores: Reparten la carga entre un grupo de servidores, aumentando la capacidad del sistema. Solucionan el problema de la caída de un servidor y aumentan la escalabilidad del sistema.

Balanceadores de carga para *firewalls*: Reparten la carga entre un grupo de *firewalls*. Aumentan la capacidad y escalabilidad del sistema.

Balanceadores de caché: Disminuyen la carga de trabajo de los servidores web al redireccionar las peticiones a sistemas de caché.

Balanceadores de carga entre sistemas servidores remotos: Permiten redireccionar las peticiones de los clientes hacia el servidor o centro de datos más idóneo para estos, mejorando los tiempos de respuesta y la calidad del servicio. La idoneidad del servidor elegido puede realizarse en función de la distancia (un servidor por país o región), o en base a otros factores como el tráfico, calidad del enlace, etc.

1.2.3 Métodos de distribución de carga

Por método de distribución de carga, se entiende la manera en la que el balanceador toma la decisión de a qué servidor, dentro de la granja de servidores, asigna una conexión. El balanceo de carga puede realizarse de dos formas: **stateless** o **statefull**. Un balanceo de carga que utilice un algoritmo que simplemente distribuya el tráfico a un determinado servidor, sin tener en cuenta el estado de la información de cada sesión (conexión TCP/UDP), es denominado **stateless load balancing**. Por el contrario, el balanceador que tiene en cuenta el estado de cada una de las sesiones, para tomar la decisión de a qué servidor dirigir las, se denomina **statefull load balancing**.

Independientemente de si el balanceador es **statefull** o **stateless**, éste utilizará un método de distribución que le ha de permitir determinar qué cantidad máxima de tráfico puede asignar a cada servidor. El objetivo es intentar realizar un reparto equitativo, en función de las capacidades de cada servidor, ya que es posible que dentro de la granja de servidores no todos los equipos tengan las mismas prestaciones (García Berdayes, 2008).

1.2.4 Algoritmos de planificación (Scheduling)

Los balanceadores de carga pueden utilizar diferentes métodos para decidir a qué servidor asignar las diferentes conexiones. Algunos de estos métodos son más efectivos que otros, en función del servicio que se ha de balancear. Es por esto, que un balanceador de carga puede utilizar diferentes algoritmos de **scheduling** para balancear diferentes tipos de servicios (García Berdayes, 2008).

Round-Robin (rr): Envía cada petición de entrada al siguiente servidor de la lista. Por ejemplo, cuando se tienen tres servidores, A, B y C, la primera petición la recibiría el servidor A, la segunda el B y la tercera el C. El ciclo se vuelve a repetir empezando nuevamente por el servidor A.

Weighted Round-Robin (wrr): Este algoritmo está diseñado para mejorar el manejo de servidores con diferentes capacidades de proceso. A cada servidor se le puede asignar un peso, que es un valor entero que indica la capacidad de proceso y que determina la proporción del trabajo que le será asignado. A mayor peso, se le envían más peticiones. Weighted Round-Robin es mejor que Round-Robin cuando la capacidad de proceso de los servidores reales es diferente. Actualmente, el Round-Robin es un caso particular del Weighted Round-Robin, en el cual todos sus pesos son iguales.

Least-Connections (lc): Dirige las conexiones de red al servidor con el menor número de conexiones. Este algoritmo es de naturaleza dinámica ya que necesita contar las conexiones activas para cada servidor dinámicamente, y es adecuado en el caso de que la carga varíe notablemente.

Weighted Least-Connection (wlc): Es un perfeccionamiento del Least-connection en el cual se le puede asignar un peso variable a cada servidor real.

Locality-Based Least-Connection (lblc): Asigna trabajos destinados para la misma IP, si el servidor no está sobrecargado y disponible. En caso contrario, lo asigna al servidor con menos trabajo y lo mantiene para designaciones futuras.

Locality-Based Least-Connection with Replication (lblcr): Asigna trabajos destinados para la misma IP al servidor Least-Connection configurado para esa IP. Si todos los servidores están sobrecargados, restablece al servidor con menos trabajo y lo añade a la lista de disponibles.

Destination Hashing (dh): Asigna trabajos a los servidores en base de buscar una asignación estática, por la IP destino, en la tabla hash.

Source Hashing (sh): Asigna trabajos a los servidores en base de buscar una asignación estática, por la IP origen, en la tabla hash.

Por tiempo de respuesta (*Response Time*): Complementa a otros algoritmos posibilitando la elección del servidor más rápido.

Mediante pruebas al servidor: Mediante la ejecución de programas en cada servidor, llamados agentes, el balanceador puede detectar de forma muy precisa las condiciones de carga de cada servidor. Esto implica una carga de trabajo extra para los servidores. Además, los agentes deben haber sido programados para el mismo sistema operativo que utilicen los servidores (Hernández Pérez, 2011).

1.3 Clúster

Clúster es un término muy usado en numerosas áreas en la actualidad. Tiene su origen en la palabra inglesa “cluster” que literalmente significa “racimo” o “grupo” y básicamente se refiere a todos los entes que trabajan en conjunto para lograr un mismo fin en cierto ámbito.

En el ámbito informático, un clúster es un conjunto de computadoras, a menudo con semejantes componentes de hardware, que se interconectan entre sí a través de un sistema de red de alta velocidad y son capaces de elevar la eficiencia para realizar determinadas tareas que individualmente no podrían realizar debido a la creciente necesidad de potencia computacional que demandan algunas aplicaciones. A pesar de estar compuesto por varias computadoras, la arquitectura de un clúster es completamente transparente para el usuario final, por lo que este lo ve como un único sistema que representa una máquina con altos niveles de procesamiento (Almaguer Chávez y otros, 2008). Debido a la flexibilidad en su diseño, variedad de características y posibilidades de aplicación, los clústeres se presentan como una buena alternativa cuando se desea un sistema para procesamiento considerable de información y economizar recursos financieros y de hardware.

1.3.1 Tipos de clúster

En dependencia de los servicios que brinde, un clúster puede ser clasificado de varias formas:

Clúster de alta disponibilidad

Un clúster de **alta disponibilidad** tiene el objetivo de proporcionar máxima disponibilidad y confiabilidad de los servicios que ofrece de tal manera que estos se brinden ininterrumpidamente. Se consigue alta disponibilidad haciendo redundantes los sistemas y de esta forma cuando se produce la caída del nodo que brinda el servicio, un clon del mismo puede tomar el control y comenzar a servir el servicio nuevamente. La confiabilidad se consigue mediante un software que detecta fallos y permite la recuperación frente a los mismos. Un clúster de alta disponibilidad evita que el sistema tenga un único punto vulnerable a la ocurrencia de fallos (Almaguer Chávez y otros, 2008).

En sentido general es un conjunto de dos o más máquinas, que se caracterizan porque el fallo en una de las máquinas no hace detenerse el servicio que ofrecen en conjunto. Si se produce un fallo del hardware o de las aplicaciones de alguna de las máquinas del clúster, el software de alta disponibilidad es capaz de arrancar automáticamente los servicios que han fallado en cualquiera de las otras máquinas del clúster. Esta capacidad de recuperación automática de servicios garantiza la integridad de la información, así como la alta disponibilidad, ya que no hay pérdida de datos, y se asegura que el servicio no falle, evitando molestias al usuario, que no tiene por qué notar que se ha producido un problema.

Clúster de alto rendimiento

En un clúster de **alto rendimiento** se ejecutan tareas que requieren de gran capacidad computacional, grandes cantidades de memoria, o ambos a la vez. Este tipo de clúster divide las tareas en otras más pequeñas y las reparte entre los nodos que lo conforman para que sean calculadas en ellos y así agilizar

el procesamiento de los datos. Estos sistemas se implementan en un ambiente de programación paralela, utilizando algoritmos que hacen uso de recursos compartidos tales como CPU, memoria, datos y servicios. Entre las aplicaciones más comunes de un clúster de alto rendimiento se encuentra el pronóstico numérico del estado del tiempo, astronomía, investigación en criptografía, análisis de imágenes, entre otras (Almaguer Chávez y otros, 2008).

Clúster de balanceo de carga

El clúster de balanceo de carga coloca en paralelo varios servidores (reales) capaces de brindar el mismo servicio y de alguna forma repartir el trabajo entre ellos, de tal forma que los clientes vean servidas sus solicitudes en tiempos menores y aceptables. Los clientes deben ver al conjunto de servidores como si fuera uno solo (servidor virtual). Un clúster de balanceo de carga tiene peculiaridades de clúster de alta disponibilidad y alto rendimiento (Almaguer Chávez y otros, 2008).

1.4 Sistemas homólogos

El uso de la tecnología de clúster a nivel mundial va en ascenso gracias a las facilidades y ventajas que brinda. Compañías como **Google** y **Wikimedia**, responsables del buscador Google y la enciclopedia libre Wikipedia respectivamente, tienen implementados la mayoría de sus servicios sobre clústeres, ya sean de alta disponibilidad, alto rendimiento, balanceo de carga o cualquier otra variante. Los servicios prestados tienen como factor común, el alto número de usuarios concurrentemente, la necesidad de gestionar eficientemente el almacenamiento de datos o la necesidad de procesar gran cantidad de información rápidamente, por lo que el uso de clústeres es apropiado. Los sistemas implementados por estas compañías logran verdaderas proezas desde el punto de vista computacional. Estos sistemas existentes a nivel internacional en ocasiones están orientados a equipos con altas prestaciones, hacen uso de redes de alta velocidad o de algunas herramientas de software privativo, razones que los convierten en soluciones poco factibles para el contexto del problema planteado.

Actualmente a nivel mundial está muy extendido el uso de los **Beowulf**, los cuales son sistemas de cómputo paralelo basados en clústeres de ordenadores personales conectados, sin el uso de equipos desarrollados específicamente para la computación paralela, y que utilizan software de código abierto. El primero fue desarrollado en 1994 por *Donald Becker* y *Thomas Sterling* en la NASA, agruparon 16 procesadores Intel DX4, interconectados con tecnología *Ethernet* y haciendo uso del sistema operativo Linux. En sentido general, es una manera relativamente sencilla y barata de crear sistemas de cómputo potentes, lo cual se adecúa a la situación problemática que origina este trabajo.

1.4.1 En Cuba

En Cuba también se ha incursionado en el empleo de los clústeres, aunque esta práctica está menos extendida, y la envergadura de las infraestructuras es menor que en otros países. Entidades como la Aduana, ETECSA o el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, cuentan con implementaciones de clústeres dedicados a resolver tareas complejas. En las investigaciones e implantación de este tipo de tecnologías han contribuido entidades como el Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF), cuyo departamento de redes tiene como misión: La investigación y desarrollo en el área de redes de computadoras y computación distribuida mediante clústeres (ICIMAF, 2012).

En la UCI

La UCI es otro de los centros que cuentan con implementaciones de clústeres, investigaciones y trabajos al respecto. Existe un centro especializado en servicios telemáticos, denominado Centro de Telemática (TLM), que desarrolla soluciones haciendo uso de tecnologías *clustering*, de balanceo de carga y de alta disponibilidad. Algunos de los estudios e implementaciones desarrollados en la UCI se relacionan a continuación.

En el mes de **junio del 2007**, Adrián Misael Peña Montero realizó el diseño de un clúster de balanceo de carga para servidores web Apache con el objetivo de ejecutar sobre él la aplicación que soporta el Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) de la UCI y fue desplegado en el mes de julio del 2007. El clúster para EVA UCI se diseñó principalmente para soportar el nivel de concurrencia, de aproximadamente 2000 usuarios, que se genera en los momentos en que realizan pruebas en la aplicación los estudiantes de todo un año de la universidad. Un objetivo secundario del diseño era aumentar el rendimiento de la aplicación en el uso cotidiano (Peña Montero, 2008).

En el año **2008**, Dayrel Almaguer Chávez y Dysán García Riera implementaron un clúster de servidores de bases de datos para aplicaciones web, el mismo fue implementado sobre software libre y su objetivo final fue: Desarrollar un clúster de bases de datos para las aplicaciones médicas del Ministerio de Salud Pública (MINSAP), cuyo despliegue se realiza de forma centralizada. Surgía por la necesidad de elevar el rendimiento de los servidores de bases de datos de dichas aplicaciones (Almaguer Chávez y otros, 2008).

En el año **2010**, Yoemir Orduñez Santana realizó un Clúster de altas prestaciones para medianas y pequeñas bases de datos (SGBD) que utilizan a PostgreSQL como sistema de gestión de bases de datos, “este se desarrolló como una solución que aumente la capacidad de respuesta y disponibilidad en los servidores donde se despliegan medianas y pequeñas bases de datos, utilizando el SGBD PostgreSQL” (Orduñez Santana, 2010).

En el mes de **Junio de 2011**, Mayrel Hernández Pérez expuso un trabajo que consistía en el diseño e implementación de un clúster de balance de carga y alta disponibilidad, el cual tenía como objetivo general: mantener accesible y en funcionamiento eficiente en todo momento el Sistema de Gestión Editorial Web en las redacciones del periódico Granma.

En **Junio del 2011**, Arlety Sarazola Leyva, integrante del proyecto GDPrensa, expuso el diseño de un esquema de alta disponibilidad, que no llegó a implementarse en la práctica, pero presuntamente aseguraría la continuidad operacional del sistema de gestión de fotografías para la prensa Fototeca Digital v1.0.

El estudio realizado a los sistemas e investigaciones existentes, tanto en el ámbito nacional como foráneo, muestra que ninguno resuelve totalmente el problema planteado. El que más se adecúa a la problemática, es el diseño de Arlety Sarazola Leyva aunque como ya se aclaró antes, no hay evidencias palpables de su efectividad, pues no llegaron a implementarse ni a probar, en la práctica, aspectos claves de la solución propuesta. Por otro lado, el estudio de estos sistemas ha sido provechoso ya que ha permitido, por ejemplo, adquirir conocimientos acerca de cómo se comportan las aplicaciones sujetas a altos niveles de concurrencia, aspecto muy importante, ya que el consumo de recursos de hardware del Alfresco aumenta considerablemente al ser sometido a múltiples peticiones concurrentes. La investigación de estos sistemas ha contribuido también al entendimiento del funcionamiento, así como la identificación de las aplicaciones y técnicas útiles para solucionar el problema planteado.

1.5 ECM Alfresco

El ECM Alfresco es una alternativa libre y de código abierto que permite desarrollar proyectos de contenido empresarial. Cumple con la filosofía de software libre. Cuenta con una creciente y fuerte comunidad de desarrolladores que periódicamente inserta nuevas tecnologías y contribuciones (Alfresco Software, 2013).

La plataforma de contenido de Alfresco cuenta con 2 versiones (*Alfresco Enterprise* y *Alfresco Community*). La versión *Enterprise* es de código abierto pero con asistencia comercial y ampliaciones empresariales. La versión *Community* es 100% código abierto, de descarga y uso gratuitos, la misma no cuenta con las mismas facilidades de soporte, actualización, seguimiento y corrección de errores que su

versión comercial pero si mantiene la misma comunidad, wiki, foro, consejos técnicos y funcionalidades en el lanzamiento de una nueva versión (Alfresco Software, 2013).

El Alfresco tiene hoy en día amplia aceptación a nivel mundial. Se plantea como una magnífica herramienta de gestión de contenidos de todo tipo, por las múltiples funcionalidades y facilidades que brinda, para compartir y manipular contenidos. Cuenta además, como parte de su arquitectura, con una base de datos interna para el almacenamiento de metadatos, así como un motor de búsqueda denominado Lucene, que permite acceder rápida y oportunamente a los contenidos dentro del repositorio. La flexibilidad de su arquitectura, que posibilita la integración con diversas tecnologías y software externos es una de las características que han hecho al Alfresco tan popular en la actualidad.

1.5.1 TeVeo Plus como una personalización del ECM Alfresco

Esencialmente el núcleo de TeVeo Plus, no es más que una personalización de un núcleo de ECM Alfresco, adecuadamente configurado para el tratamiento documental de archivos de audio y vídeo. Este se ha estructurado de forma tal, que permita establecer un flujo lógico de operaciones y acciones, sobre los contenidos de tipo audio y vídeo, de acuerdo al ciclo de vida establecido en los departamentos editoriales de los medios de prensa para este tipo de materiales periodísticos. Los encargados de realizar los cambios sobre los contenidos son los distintos roles (editor, colaborador, gestor) según sus permisos y dentro de sus respectivos espacios personales. El núcleo de TeVeo Plus se ha configurado además para que utilice como gestor de bases de datos PostgreSQL, aprovechando la versatilidad de Alfresco para integrarse y comunicarse con otros sistemas.

1.6 Sistema gestor de bases de datos PostgreSQL

PostgreSQL es la base de datos relacional de código abierto más avanzada del mundo. Distribuida bajo licencia BSD⁴, lleva más de 15 años desarrollándose y su arquitectura goza de una excelente reputación por su fiabilidad e integridad de datos. PostgreSQL dispone de versiones para prácticamente todos los sistemas operativos y cumple totalmente con ACID⁵. Tiene soporte para claves extranjeras, *joins*, vistas, disparadores y procedimientos almacenados (en múltiples lenguajes de programación). Soporta el almacenamiento de grandes objetos binarios, como imágenes, audios y vídeos digitales. Tiene interfaces de programación nativas para C/C++, Java, .Net, Perl, PHP, Python, Ruby, Tcl y ODBC, entre otros, y una excepcional documentación.

1.7 Herramientas para lograr alta disponibilidad y balanceo de carga

Ciertamente el ECM Alfresco dispone de un alto número de facilidades y funcionalidades para la gestión de contenidos diversos, pero una de sus dificultades es el alto consumo de recursos de hardware y la susceptibilidad a fallos en caso de estar desplegado en máquinas de bajas prestaciones.

Los requerimientos de hardware del Alfresco son variables y dependen de manera significativa del número de usuarios concurrentes que tendrán acceso al sistema. Un usuario concurrente es aquel que constantemente accede al sistema a través de la web del Alfresco o cliente con sólo una pequeña pausa entre las peticiones (3-10 segundos como máximo) y con acceso continuo 24/7. Téngase en cuenta que para estas métricas, N usuarios concurrentes se considera equivalente a 10xN usuarios casuales que el

⁴ Del inglés: Berkeley Software Distribution (en español: Distribución de Software de Berkeley).

⁵ Del inglés: Atomicity, Consistency, Isolation, Durability (en español: Atomicidad, Consistencia, Aislamiento, Durabilidad).

servidor podría atender. A continuación se relacionan las características de hardware recomendadas con relación a la demanda concurrente y casual del Alfresco (Centro CIDI, 2011).

- Con 50 usuarios concurrentes o hasta 500 usuarios casuales: 1 GB de RAM *Java Virtual Machine* & 2x CPU del servidor (o *1xDual-core*).
- Para 100 usuarios concurrentes o hasta 1000 usuarios casuales: 1 GB de RAM *Java Virtual Machine* & 4x CPU del servidor (o *2xDual-core*).
- Para 200 usuarios concurrentes o de hasta 2000 usuarios ocasionales: 2GB de RAM *Java Virtual Machine* & 8x CPU del servidor (o *4xDual-core*) (Centro CIDI, 2011).

En entornos donde los recursos de hardware son escasos, una solución alternativa para hacer frente al alto consumo de Alfresco sería gestionar adecuadamente, mediante software especializados, el cumulo de peticiones de los que puede ser objeto en momentos determinados el servidor Alfresco propiamente dicho o la base de datos que emplea el mismo. Para ello se puede hacer uso de múltiples aplicaciones que proporcionan facilidades de balanceo de carga y alta disponibilidad. A continuación se caracterizan algunas de las mismas.

1.7.1 Proxy Squid

Squid es una aplicación de software libre la cual despliega un servidor proxy y un dominio para caché. Hoy en día se considera muy robusto y completo debido a las constantes mejoras añadidas durante sus años de evolución. Publicado bajo licencia GPL y especialmente diseñado para ambientes Unix, dispone de una amplia variedad de funcionalidades como pueden ser: guardar en caché peticiones repetidas a un mismo recurso de la red, guardar caché de páginas web, e incluso opciones para acelerar el servidor

web. Squid añade seguridad al sistema filtrando el tráfico, además de que implementa varias modalidades de cifrado tales como TLS, SSL y HTTPS (Squid project, 2012).

1.7.2 Proxy Varnish

Varnish es un servidor proxy y acelerador HTTP pensado para sitios web dinámicos de contenido pesado. Está centrado exclusivamente en HTTP (no como otros servidores proxy que también soportan FTP, SMTP y otros protocolos) pero al ser instalado y configurado adecuadamente, delante de cualquier servidor que se comunique mediante HTTP es capaz de acelerar el tráfico a razón de 300 - 1000x dependiendo de la arquitectura. Hay que resaltar que Varnish es software libre, está licenciado bajo BSD y cuenta con varios años de evolución ya que su primera versión salió al mercado en 2006 (Varnish Community, 2012).

1.7.3 LVS

Linux Virtual Server (LVS) es un proyecto de código abierto iniciado por Wensong Zhang en mayo de 1998. El objetivo principal del mismo es desarrollar un servidor Linux de alto rendimiento que proporcione buena escalabilidad, confiabilidad, robustez y alta disponibilidad usando tecnología *clustering*. Actualmente, la labor principal del proyecto LVS es desarrollar un sistema IP avanzado de balanceo de carga por software (IPVS), balanceo de carga por software a nivel de aplicación y componentes para la gestión de clústeres. Haciendo uso de las soluciones de LVS se puede montar un sistema altamente escalable, donde se garantiza una alta disponibilidad de los servicios de red, servicios web, correo electrónico, cachés, FTP (LVS Project, 2012). Las soluciones de LVS ya han sido implementadas con éxito en muchos entornos operacionales reales como por ejemplo los proyectos de Wikimedia (enero de 2006) entidad responsable de la Wikipedia Enciclopedia Libre.

1.7.4 Ldirectord

Ldirectord es un software que monitorea y administra servidores reales en los clústeres de balanceo de carga con servidores virtuales. Ldirectord es típicamente usado como un recurso de alta disponibilidad para sistemas Linux (como los clústeres LVS) aunque también puede ser empleado desde la línea de comandos del sistema. Un cluster LVS consiste en uno o varios servicios virtuales, cada uno de los cuales puede estar soportado por una o varios servidores reales. El usuario final del servicio, se conecta a la dirección IP virtual del servicio y Ldirectord se encarga de monitorear los servidores reales y redireccionar hacia ellos, de acuerdo a los algoritmos de scheduling que tenga implementados, los paquetes de la petición del usuario. Ldirectord tiene un fichero de configuración que especifica los servicios virtuales y sus asociaciones con servidores reales. Ldirector monitorea el estado de los servidores reales mediante solicitudes a URLs⁶ conocidas y chequea que estos respondan y que las respuestas contengan valores esperados. Si un servidor real falla, el mismo es eliminado de la lista de servidores disponibles y es posteriormente incluido cuando nuevamente se muestre activo (Horns Solutions Ltd., 2010).

1.7.5 Keepalived

Keepalived es un software de ruteo escrito en lenguaje C. El objetivo principal de este proyecto es proveer balanceo de carga y alta disponibilidad al sistema Linux o a infraestructuras basadas en este. Es un *framework*⁷ de balanceo de carga basado en el conocido y ampliamente usado módulo Linux Virtual Server (IPVS), proveyendo balanceo de carga capa4. Keepalived implementa un grupo de fichas de

⁶ Del inglés: *Uniform Resource Locator* (en español: Localizador de recursos uniforme). Se refiere a secuencias de caracteres, que cumplen con un formato modélico y estándar, que se usan para nombrar recursos en Internet para su localización o identificación, como por ejemplo documentos textuales, imágenes y/o vídeos.

⁷ Palabra inglesa que literalmente significa "marco de trabajo" y se aplica a algunos software.

control para manejar y mantener de forma dinámica y adaptativa un grupo de servidores balanceados de acuerdo a su estado. Por otro lado la alta disponibilidad se consigue mediante el protocolo VRRP. Keepalived provee interacciones de protocolo a bajo nivel y alta velocidad. Además, es software libre y puede ser modificado bajo los términos de la licencia GPL (Keepalive Project, 2012).

1.7.6 Pgpool-II

Pgpool-II es un middleware (software intermediario) que trabaja entre servidores PostgreSQL y clientes de base de datos proporcionando balanceo de carga y alta disponibilidad. Está protegido bajo la licencia BSD y es código abierto. Cuenta con las siguientes características:

- **Pool de conexiones:** Pgpool-II mantiene abiertas las conexiones a los servidores PostgreSQL y las reutiliza siempre que se solicita una nueva conexión con las mismas propiedades (nombre de usuario, base de datos y versión del protocolo). Ello reduce la sobrecarga en las conexiones y mejora la productividad global del sistema.
- **Replicación:** En este modo, Pgpool-II actúa como agente de replicación, para lo que envía las consultas de modificación de datos a todos los nodos del clúster.
- **Balanceo de carga:** Si se replica una base de datos, la ejecución de una consulta *SELECT* en cualquiera de los servidores devolverá el mismo resultado. Aprovecha la característica de replicación para reducir la carga en cada uno de los servidores PostgreSQL distribuyendo las consultas *SELECT* entre los múltiples servidores, mejorando así la productividad global del sistema. En el mejor caso, el rendimiento mejora proporcionalmente al número de servidores PostgreSQL.

- **Consultas paralelas:** Al usar la función de paralelización de consultas, los datos están particionados y pueden dividirse entre varios servidores, de modo que la consulta puede ejecutarse en todos los servidores de manera concurrente para reducir el tiempo total de ejecución. La paralelización de consultas es una solución adecuada para búsquedas de datos a gran escala.
- **Límite de conexiones:** Permite delimitar el número de conexiones para evitar sobrepasar la cantidad máxima admitida por PostgreSQL.

Pgpool-II es además, transparente tanto para el servidor como para el cliente, debido a que crea una máscara en el servidor de aplicaciones de BD (*frontend*) por donde el cliente es capaz de conectarse y Pgpool-II distribuye las peticiones a los servidores de BD reales (*backend*) (Pgpool, 2013).

1.7.7 Heartbeat

Heartbeat es un software destinado a mantener servicios en alta disponibilidad bajo Linux. Para ello se requiere ejecutar Heartbeat simultáneamente en un mínimo de dos máquinas. La primera máquina, llamada maestra o *master*, es la que ofrece normalmente el servicio. La segunda máquina, llamada esclava, es la que suplanta a la maestra en el caso de que por algún motivo deje de funcionar y consecuentemente de prestar sus servicios (Almaguer Chávez y otros, 2008).

Heartbeat basa su funcionamiento en el envío y recepción de “latidos”, estos son las señales enviadas por los demonios⁸ Heartbeat que corren en ambas máquinas. La diferencia entre el servidor maestro y el esclavo radica en que el maestro es quien tiene la prioridad para ofrecer el servicio. El esclavo pasará a ofrecer el servicio sólo cuando deje de escuchar los latidos del maestro por un período predeterminado

⁸ Nombre que reciben los procesos corriendo en Linux.

de tiempo, entonces supondrá que este ha dejado de funcionar. Tan pronto como el esclavo vuelva a escuchar los latidos del maestro detendrá los servicios que estaba ofreciendo para que el maestro le tome el relevo y vuelva a servirlos (Almaguer Chávez y otros, 2008).

1.7.8 Selección de herramientas para el balanceo de carga y la alta disponibilidad

Luego del análisis se decide seleccionar el software Keepalived debido a las múltiples funcionalidades y facilidades de uso que brinda y porque se plantea como un entorno completo que incluye balanceo de carga mediante LVS y alta disponibilidad gracias a ldirectord. Además, se ha podido constatar que en la UCI existe cierta experiencia en el empleo de dicha solución con muy buenos resultados.

1.8 Tecnologías para el almacenamiento en red

La tecnología de almacenamiento actual engloba todo tipo de soportes. En los últimos años, los sistemas SAN y NAS han demostrado su excelente fiabilidad. Veamos en qué se diferencian estos dos sistemas:

1.8.1 SAN

Las unidades **SAN**⁹ pueden ser armarios enormes; algunos pueden tener 240 discos duros. Estos grandes sistemas con más de 50 *terabytes* de capacidad hacen más que sólo activar cientos de discos duros. Son almacenes de datos de una potencia increíble que emplean utilidades de software muy

⁹ Del inglés: *Storage Area Network* (en español: Área de almacenamiento en red).

versátiles para gestionar múltiples discos duros, soportar diversas configuraciones de arquitectura de almacenamiento y proporcionar una monitorización constante del sistema (Kroll Ontrack, 2013).

1.8.2 NAS

Las unidades **NAS**¹⁰ son unidades independientes que cuentan con sistemas operativos y de archivos propios y gestionan los discos duros que llevan conectados. Son unidades de diversa capacidad para ajustarse a las necesidades de cada propietario y funcionan como servidores de archivos (Kroll Ontrack, 2013).

Los dispositivos NAS utilizan usualmente más de un dispositivo de almacenamiento, en la mayoría de los casos están compuestos por **RAIDs**¹¹ de discos, lo que aumenta la capacidad de almacenamiento, la seguridad, y la velocidad de acceso a la información.

Un sistema NAS se implementa mediante un dispositivo hardware simple, llamado “**NAS box**” o “**NAS head**”, actúa como interfaz entre el NAS y los clientes. Los clientes se conectan al NAS head a través de una conexión Ethernet. NAS aparece en la LAN como un simple nodo que es la Dirección IP del dispositivo NAS head (Elteto, 2009).

1.8.3 Plataformas de almacenamiento

OpenFiler

¹⁰ Del inglés: *Network Attached Storage* (en español: Almacenamiento volcado en la red.)

¹¹ Del inglés: *Redundant Arrays of Independent Disks* (en español: Arreglos redundantes de discos independientes).

Openfiler es un sistema operativo especialmente diseñado para el almacenamiento en red. Incorpora facilidades de NAS basado en ficheros y SAN basado en bloques. Fue creado por *Xinit Systems* y está basado en la distribución de Linux *rPath*. Es software libre protegido por la licencia GPL versión 2. Openfiler cuenta con múltiples funcionalidades y características tales como:

- Características extensivas de manejo de particiones.
- Manejo de cuentas y grupo de usuarios (se puede utilizar LDAP, *Active Directory*).
- Asignación de cuotas de acceso a los recursos para grupos y usuarios.
- Interprete seguro de comandos (cliente SSH).
- Soporta gran número de protocolos (CIFS/SMB, NFS, FTP, WebDAV y HTTP).

Openfiler es un software robusto que asegura Fiabilidad, Disponibilidad, Rendimiento y Escalabilidad en los entornos en los que se despliega. Se presenta como un solución adecuada si se desea realizar almacenamiento en red (OpenFiler, 2012).

FreeNAS

FreeNAS es un sistema operativo basado en FreeBSD que emplea una versión personalizada y optimizada del mismo, así como una interfaz basada en la web para proporcionar un ambiente con todas las funciones NAS. FreeNAS ofrece almacenamiento basada en software y soluciones de copia de seguridad para una variedad de aplicaciones, desde el hogar a la empresa. Es gratuito, código abierto y software libre (basado en licencia BSD). Debido a su optimización y múltiples funcionalidades, es útil para convertir una computadora personal de pocas prestaciones en un soporte de almacenamiento accesible desde la red, por ejemplo para almacenamientos masivos de información, música, audio o vídeo. A continuación se relacionan algunas de las características más notables de FreeNAS.

- Demanda poco tamaño de disco (menos de 32Mb).

- Instalación rápida y fácil.
- Demanda bajos recursos de sistema.
- Fácil administración remota mediante interfaz web.
- No es necesario tener conectado monitor ni teclado para su operación.
- Puede ser instalado en disco duro, *USB Key*, o tarjeta *CompactFlash*.

FreeNAS proporciona además, una amplia gama de servicios tales como: CIFS/SMB (Samba), NFS¹², FTP¹³, SSH¹⁴, protocolos iSCSI¹⁵ (FreeNAS Proyect, 2011).

OpenStack

OpenStack es un proyecto liderado por la empresa *Rackspace*, que ha decidido liberar el código de sus servicios *Cloud Files* y *Cloud Servers* bajo una licencia Apache 2.0. Este código forma la piedra angular de OpenStack (software), ofreciendo la posibilidad a usuarios o empresas de crear sus propios servicios de *cloud computing*¹⁶ (Genbeta, 2010).

OpenStack (software) es un sistema operativo para *cloud computing* que permite a un administrador gestionar a través de un panel de controles, grandes volúmenes de cómputo, almacenamiento y

¹² Del inglés: *Network File System*,(en español: Sistema de archivos de red).

¹³ Del inglés: *File Transfer Protocol* (en español: Protocolo de Transferencia de Archivos).

¹⁴ Del inglés: *Secure SHell* (en español: Intérprete segura de comandos).

¹⁵ Del inglés: *Internet Small Computers System Interface* (en español: Interfaz para Internet de Sistema para Pequeñas Computadoras).

¹⁶ En español significa “Computación en la nube” y se refiere a una nueva tecnología de procesamiento y almacenamiento de datos, afín con la tecnología *clustering* y orientado a Internet.

recursos de red a través de un centro de datos. Cuenta con varias líneas especializadas como *OpenStack Storage*.

OpenStack Storage permite gestionar el almacenamiento de datos en varios servidores que trabajen de manera conjunta en clúster, para conseguir un almacenamiento masivo de objetos estáticos, de manera superflua y fiable. El software de *OpenStack* es el responsable de garantizar la replicación de los datos y la integridad a través de todo el clúster, permitiendo añadir nuevos nodos y configurarlos de manera automática (Genbeta, 2010).

1.8.4 Selección de herramienta para el almacenamiento compartido

Luego del análisis se decide implementar una SAN para el almacenamiento compartido. Se selecciona como plataforma de almacenamiento el software OpenFiler debido a las múltiples funcionalidades y facilidades de uso que brinda a la hora de publicar recursos de red de tipo NFS. Otras características importantes que influyeron en su selección son: el bajo consumo de recursos de hardware y que se ha podido constatar que algunos proyectos y especialistas de la UCI cuentan con cierta experiencia en el empleo de dicha herramienta con buenos resultados.

1.9 Sistema operativo

Un sistema operativo es un conjunto de programas y utilidades básicas que hacen que su computadora funcione. El centro de un sistema operativo es el núcleo o kernel. El kernel es el programa más importante en la computadora, realiza todo el trabajo básico y le permite ejecutar otros programas (Debian Project, 2012).

1.9.1 Ubuntu

Rápido, libre y fácil de usar, Ubuntu es hoy un sistema operativo (SO) usado por miles de PCs de escritorio, laptops y servidores alrededor del mundo. Es un SO libre y orientado al usuario. Dinámico y robusto en múltiples actividades, desde el trabajo con archivos de audio y vídeo hasta el desarrollo de software. Cuenta con un amplio arsenal de aplicaciones librerías adaptadas a su entorno y que lo hacen usable tanto en simples computadoras personales como en servidores. Sus desarrolladores, con una infraestructura de soporte y asesoría amplia, se retroalimentan de las experiencias de los usuarios agregando mejoras al sistema en cada versión.

Es importante resaltar que Ubuntu es compatible con un alto número de dispositivos de hardware y cuenta con distribuciones que usan entornos de escritorio de poco consumo en aras de economizar recursos de hardware. Ejemplo de ello son **Xubuntu** (usa Xfce), **Fluxbuntu** (usa Fluxbox) o **Lubuntu** (usa LXDE), especialmente diseñados para ser usados en equipos antiguos o con bajas prestaciones.

1.9.2 Nova

Nuestro país se ha propuesto la informatización de la sociedad y por la relativa antigüedad y bajas prestaciones de la mayoría de computadoras existentes, la tarea de escoger un sistema operativo adecuado, se ha hecho difícil. En la Universidad de las Ciencias Informáticas, el proyecto Nova desarrolla el sistema operativo libre cubano de igual nombre, que se pueda adaptar a las necesidades del país y a las condiciones del parque tecnológico del que dispone el centro donde se vaya a usar. Nova se plantea como una buena alternativa y presenta varias ventajas sobre otros sistemas operativos. Cuenta con un departamento dedicado al soporte y la asesoría. Dispone además de un amplio repositorio de aplicaciones. Su kernel es basado en Ubuntu, por tanto hereda las compatibilidades de hardware de este. Nova, al ser desarrollado justamente en Cuba, está adaptado al parque tecnológico

disponible e incluso soporta algunas arquitecturas que se han detectado en la isla y que por ser ya obsoletas de acuerdo a los parámetros internacionales, no están consideradas por las distribuciones modernas de otros SO. Sus desarrolladores se superan constantemente y estudian tecnologías como: Android, Arch, Gentoo, Debian, Ubuntu, Open Suse, Fedora, Windows y MacOX, interesantes a tener en cuenta en el desarrollo de Nova (Proyecto NOVA, 2012). Nova cuenta además con una rama dedicada a los clientes ligeros denominada Nova Ligero, el cual emplea aplicaciones de poco consumo de recursos, al igual que su entorno de escritorio denominado GUANO.

1.9.3 Debian

El Proyecto Debian es una asociación de personas que han hecho causa común para crear un sistema operativo (SO) libre denominado igualmente Debian. Los sistemas Debian actualmente usan el núcleo de Linux, sin embargo, se está trabajando para ofrecer Debian con otros núcleos, en especial con el Hurd desarrollado por GNU (El Hurd es una colección de servidores que se ejecutan sobre un micronúcleo). Debian viene con más de 29000 paquetes (software precompilado y empaquetado en un formato amigable para una instalación sencilla en su máquina), todos ellos de forma gratuita (Debian Project, 2012). A continuación, se exponen algunas de sus ventajas y desventajas.

1.9.4 Cuadro comparativo de sistemas operativos

SOV&D	Ventajas	Desventajas
Ubuntu	<ul style="list-style-type: none"> -Amplio uso a nivel mundial. -Gran comunidad de desarrollo. -Largo tiempo de desarrollo y evolución (Más de 10 años). -Infraestructura de soporte bien desarrollada. -Instalación sencilla. -Repositorio de aplicaciones amplio. 	<ul style="list-style-type: none"> -En algunas versiones, los desarrolladores se han concentrado en los aspectos gráficos en detrimento de la eficiencia en el empleo de los

	<ul style="list-style-type: none"> -Es fácil de usar, su interfaz está más orientada al usuario que la de otros sistemas tipo Linux y está pensada para personas que previamente conocían el sistema Windows. -Cuenta con algunas distribuciones optimizadas como Xubuntu o Fluxbuntu, diseñadas para equipos antiguos o de poco poder de procesamiento. - Al estar Ubuntu basado en Debian, conserva de este los últimos aspectos esenciales, como la compatibilidad con gran número de arquitecturas e incluso lo supera en este aspecto; también lo supera en la facilidad de uso, pues al estar más orientado al usuario común, hace más sencillas tareas que en Debian son algo complicadas, como realizar configuraciones básicas. 	recursos de hardware.
Nova	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollado en Cuba. -Instalación sencilla y muy rápida (Menos de 10 minutos). -Especialmente adaptado al parque tecnológico disponible en Cuba. -Cuenta con una versión (Nova Ligero) elaborada justamente para computadoras de bajas prestaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> -Poco tiempo de desarrollo y evolución (Menos de 10 años). -Índice de errores y fallos frecuentes mayor que el de otros SO.
Debian	<ul style="list-style-type: none"> -Amplio uso a nivel mundial. -Gran comunidad de desarrollo. -Largo tiempo de desarrollo y evolución (Más de 10 años). -Soporte ágil y eficiente (respuestas vía correo hasta en 15 minutos). -Instalación sencilla. -Repositorio de aplicaciones amplio (más de 29000 elementos de software diferentes disponibles). -Usa el sistema de empaquetamiento de software dpkg, uno de los mejores del mundo (según el sitio oficial de Debian). -Sobrepasa a todas las otras distribuciones en lo bien integrados que están sus paquetes (Según el sitio oficial de Debian). -Actualizaciones muy sencillas y rápidas gracias a su sistema de empaquetamiento. -Es muy estable. Se sabe de casos de máquinas que han trabajado todo un año sin reiniciarse ni colapsar. -Rápido y ligero en memoria. Tanto es así que existen software, originalmente desarrollados para Windows, que 	<ul style="list-style-type: none"> -Falta de software comercial popular. -Es más difícil de configurar que otros SO. -No todo el hardware está soportado (particularmente nuevo, viejo o raro).

	<p>emulados en Debian, tienen un rendimiento incluso mejor que en sus ambientes originales. -Los controladores para la mayoría del hardware están escrito por usuarios de GNU/Linux, no por el fabricante.</p>	
--	---	--

1.9.5 Selección del sistema operativo a utilizar

De acuerdo al análisis realizado y debido a sus múltiples ventajas sobre otros sistemas operativos se selecciona **Ubuntu Serve** como sistema operativo a utilizar en los nodos de la propuesta de solución.

1.10 Conclusiones del capítulo

El estudio de conceptos teóricos tales como: los tipos de clúster, el balanceo de carga, la alta disponibilidad, las herramientas y aplicaciones necesarias para implementar los anteriores, así como los diferentes sistemas homólogos implementados en Cuba y en el resto del mundo, que resuelven problemas similares al planteado, ha permitido llegar a la conclusión de que una arquitectura en la que se aplique el balanceo de carga y se realice el procesamiento distribuido de las tareas complicadas permitirá racionalizar el uso de los recursos de hardware, que es una forma de paliar el alto consumo del sistema TeVeo Plus. Permitirá además potenciar aspectos tan importantes como la escalabilidad y la alta disponibilidad del sistema, de manera tal que, aún disponiendo para su instalación de máquinas de bajas prestaciones, TeVeo Plus pueda funcionar correctamente y el mayor tiempo posible. Se propone como solución un sistema tipo *Beowulf* utilizando técnicas de *clustering*. Se utilizará sistema operativo Ubuntu, se realizará balanceo de carga mediante LVS y la alta disponibilidad estará a cargo de *ldirectord*.

Capítulo 2. Propuesta de solución y aspectos claves para su implementación

La solución propuesta va encaminada a potenciar la escalabilidad del sistema, hacer un uso eficiente de los recursos de hardware disponibles, así como la distribución adecuada de los dispositivos de hardware y software en los diferentes nodos físicos; de manera tal que sea posible la instalación de TeVeo Plus en máquinas de bajas prestaciones. Aun así la disponibilidad sea alta, los tiempos de respuesta a los usuarios sean considerablemente pequeños, se logre gestionar adecuadamente grandes volúmenes de peticiones concurrentes y se asegure continuidad operacional del sistema aún en situaciones adversas.

2.1 Descripción de la propuesta de solución

Se propone una arquitectura de clúster, la cual cuenta con una sección de almacenamiento, una de bases de datos y una de clúster web (núcleos Alfresco y servidores balanceadores de carga). Es importante tener en cuenta las características, desde el punto de vista arquitectónico y funcional, que tienen cada una de estas secciones para distribuir adecuadamente el hardware, ya que la propuesta está orientada a equipos de bajas prestaciones (computadoras de escritorio) cumpliendo función de servidores.

El primer componente del clúster web son los servidores proxy. Estos no son más que servidores en los cuales se ha instalado el software balanceador de carga, que será el que recibirá el cúmulo de peticiones de los usuarios y las distribuirá adecuadamente entre los núcleos de Alfresco, balanceando así la carga a procesar. Los servidores proxy deben ser dos o más pues, normalmente, uno gestionará las peticiones y en caso de no poder cumplir esta función por alguna razón, alguno de los restantes tomaría su lugar. Los demás componentes de esta sección son los núcleos Alfresco, los cuales estarán instalados en varios (dos o más) servidores. En cada uno de estos servidores estará instalada una

instancia del núcleo Mediateca Digital (núcleo Alfresco). Dichos núcleos compartirán una misma caché. Es necesario además, replicar las sesiones de usuarios para evitar conflictos entre los núcleos. Los núcleos Mediateca almacenarán su información en las secciones de base de datos y almacenamiento compartido. La primera está compuesta por un servidor en el cual se encuentra instalado el gestor de base de datos PostgreSQL que se encargará de gestionar la base de datos de los núcleos Alfresco. El almacenamiento de los contenidos y los índices generados por el buscador interno Lucene con el que cuentan los núcleos Alfresco, se realizará en la sección de almacenamiento en red. El espacio en discos para el almacenamiento está disponible, mediante el protocolo NFS¹⁷ que implementa el software OpenFiler instalado en el servidor que constituye la sección de almacenamiento en red. En la figura 1 se muestra la arquitectura general del sistema en conjunto. La alta disponibilidad (AD) y el balanceo de carga (BC) son aspectos esenciales en dicha arquitectura.

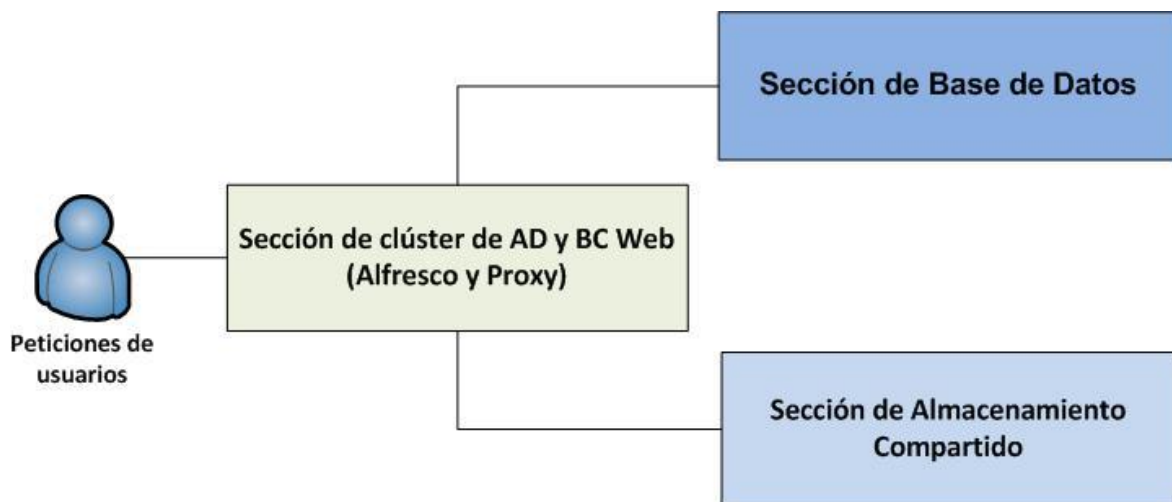


Figura 1. Arquitectura general del sistema.

¹⁷ Del inglés: *Network File System* (en español: Sistema de ficheros de red).

2.2 Particularidades del consumo de recursos de hardware debido a las características de la solución propuesta

En sistemas como el propuesto, donde el rendimiento está estrechamente relacionado con condiciones de uso tales como el número de usuarios concurrentes en horarios pico, el consumo de recursos de las diferentes aplicaciones puede variar dramáticamente. Para desplegar sistemas con estas características en máquinas de bajas prestaciones, es necesario analizar detenidamente las características de las diferentes secciones y aplicaciones, para distribuir adecuadamente el hardware del que se disponga, en función de las características del software a utilizar. En este sentido, el balanceo de carga juega un papel fundamental a la hora de enfrentar el alto consumo de recursos de algunas aplicaciones como el Alfresco, si para su instalación se dispone de máquinas de bajas prestaciones como es el caso. Otro aspecto a tener en cuenta es que, para enfrentar un consumo alto de recursos, lo ideal sería disponer de un servidor de altas prestaciones capaz de responder adecuadamente; en caso de no ser posible, una solución adecuada sería emplear varios servidores de bajas prestaciones interconectados entre sí siguiendo la filosofía de los sistemas *Beowulf*. En este caso hay que tener en cuenta que la conectividad del sistema es un aspecto crítico para la efectividad de la solución.

2.2.1 Requerimientos de Hardware recomendados

Se recomienda que los **servidores balanceadores de carga** tengan características similares. En estos servidores no es tan importante un gran espacio en disco, por lo que se sugiere que cuenten con un disco duro de 80 GB. Sin embargo la memoria RAM deberá ser de 1 GB como mínimo y el procesador un Dual-Core, ya que en estos servidores se encontrará instalado el balanceador de carga que gestionará las peticiones realizadas a los núcleos Mediateca.

En los **servidores Alfresco** se han de ubicar los procesadores más potentes disponibles, así como las memorias RAM más potentes. Esta es la sección de mayor demanda de memoria RAM y procesamiento, dentro del sistema, debido mayormente a las características de alto consumo del Alfresco. Al igual que en los servidores balanceadores de carga, en los servidores de esta sección, no se requiere gran espacio en disco. Cada servidor donde se encontrará instalado el núcleo Mediateca, contará con una RAM de 2 GB (1 GB para la Máquina Virtual de Java), un disco duro de 80 GB y un procesador Dual-Core o superior.

Se recomienda que el servidor de la **sección de base de datos** cuente como mínimo con una memoria RAM de 1 GB, un disco duro de 80 GB y un procesador Dual-Core o superior.

El **servidor de almacenamiento** se recomienda que cuente con una memoria RAM de 1 GB y un procesador Pentium IV. De acuerdo a las características de esta sección dentro del clúster, el tamaño de los discos duros es lo más importante en este servidor. Ya que constituirá el área de almacenamiento, se han de reservar para él los discos duros mayores, hasta lograr un espacio en discos, lo suficientemente grande como para almacenar los contenidos de la entidad donde se encuentre instalado el sistema.

2.2.2 Requerimientos de Software

- ✓ Ubuntu 12.04 (Sistema operativo)
- ✓ LVS (IPVS 1.2.1)
- ✓ Ldirectord 3.9.2
- ✓ Alfresco 3.4 (Núcleo Mediateca digital)
- ✓ PostgreSQL 8.4 (Sistema gestor de base de datos)
- ✓ OpenFiler 2.99.1

2.3 Diseño de la solución

El diseño propuesto está formado por seis servidores como mínimo, distribuidos de la forma que se muestra en la figura 2. Para una mejor comprensión y descripción del sistema, el mismo se ha dividido en secciones como anteriormente se explicó.

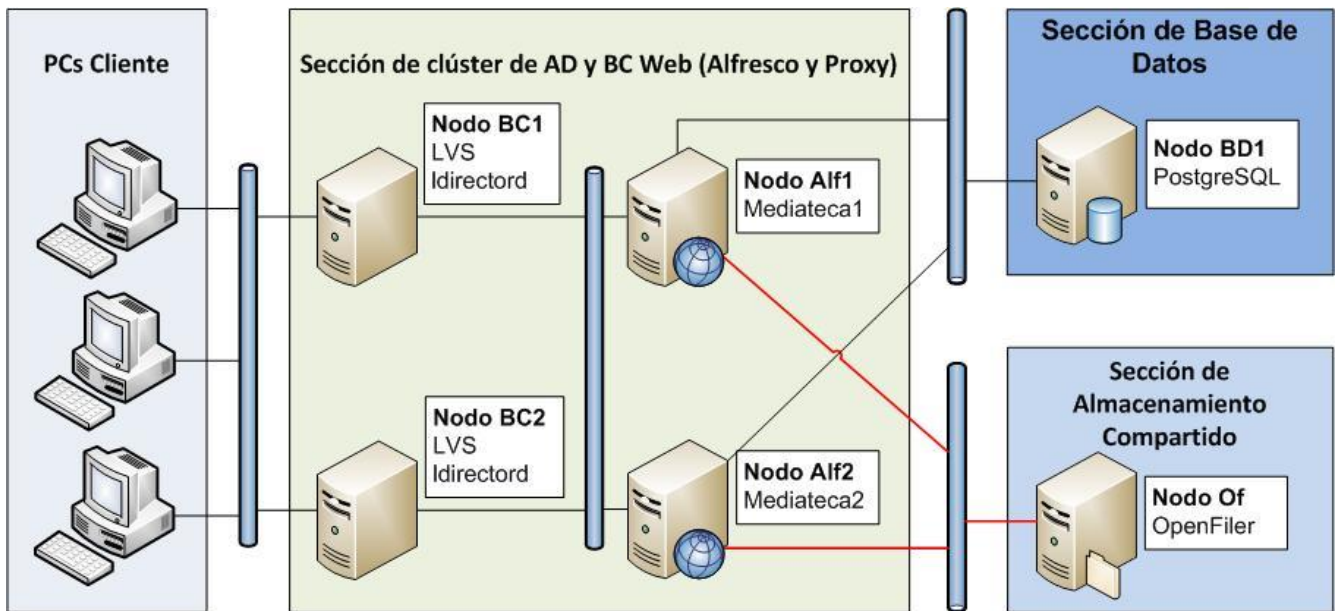


Figura 2. Distribución física de la propuesta de solución.

2.3.1 Sección de clúster web (Alfrescos y balanceadores de carga)

El Alfresco está pensado como una arquitectura sin necesidad de instalación de componentes adicionales, bastante sencilla, con opciones preconfiguradas que están destinadas para tener un completo sistema de gestión de contenidos trabajando al instante. Uno de sus elementos más notables,

que lo hace ideal para proyectos de disímiles características y envergaduras, es lo flexible y dinámico de su arquitectura. Esta es versátil y adaptable a las necesidades de los usuarios. En la siguiente figura se muestra un esquema que muestra la arquitectura por capas del Alfresco (Centro CIDI, 2011).

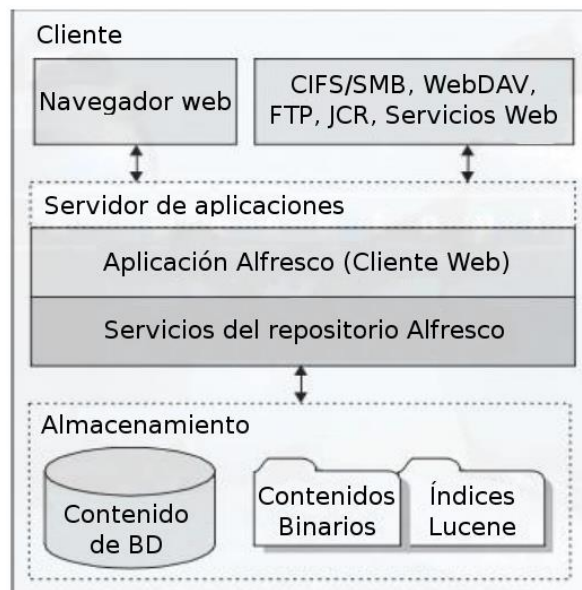


Figura 5. Arquitectura de Alfresco.

Alfresco cuenta con una base de datos interna en la cual se almacena la información. Además, dentro del repositorio de Alfresco se hace uso del motor de búsqueda Lucene el cual genera índices que serán usados para encontrar más eficientemente los contenidos en búsquedas futuras. Los índices de Lucene, así como los contenidos procesados y en forma de ficheros binarios, son almacenados por Alfresco en una carpeta denominada "alf_data", que se encuentra dentro de su instalación. La Mediateca, como se especificó en el capítulo anterior, es una personalización de un núcleo de Alfresco, por lo que hereda su arquitectura base e incluye algunos cambios en la misma. Una de las modificaciones introducidas en la

Mediateca es el empleo de una base de datos PostgreSQL externa, para el almacenamiento de información, prescindiendo del uso de la base de datos interna del Alfresco.

Dadas las características de la Mediateca anteriormente expuestas, se propone la implementación de la sección de clúster web. Esta estará integrada en primer lugar por dos o más servidores Alfresco. Cada uno de los núcleos estará configurado de forma tal que, sus bases de datos, sean gestionadas por el gestor de base de datos PostgreSQL instalado en la sección de base de datos. Para el almacenamiento de los contenidos, cada uno de los nodos estará consumiendo un recurso de red brindado por el software OpenFiler mediante protocolo NFS. Este recurso de red es esencialmente un espacio común en disco duro, empleado por los distintos nodos Mediateca para almacenar sus respectivos contenidos e índices de Lucene.

El hecho de que en un sistema coexistan paralelamente varias instancias de Alfresco sin estar adecuadamente configurados para trabajar de manera conjunta, puede ser hasta cierto punto conflictivo. En esas circunstancias los núcleos intentarían servir, de modo independiente las peticiones de los usuarios disputándose los mismos recursos o duplicando contenidos y tareas. Para evitar esta situación se procederá a comunicar las sesiones de los diferentes usuarios y a sincronizar las bases de datos de los núcleos Alfresco. Es preciso además, replicar las cachés de los nodos para que ambos núcleos dispongan de la misma. Luego de llevar a cabo estas tareas, ambos núcleos Mediateca serán capaces de atender conjuntamente las peticiones de los usuarios. Se hace necesario asegurar que las peticiones de los usuarios lleguen a los servidores Alfresco para ser servidas. De ello se ocupan los servidores balanceadores de carga, los cuales deben ser dos o más, ya que uno se mantendrá balanceando las peticiones y en caso de fallar, el otro estaría apto para ocupar su lugar evitando que se interrumpa el servicio. En cada uno de los servidores balanceadores de carga, se encuentra el software LVS que provee una dirección IP¹⁸ de servicio, a la cual se conectan los usuarios. En estos nodos también se

¹⁸ Del inglés: *Internet Protocol* (en español: Protocolo de Internet). Se refiere a las direcciones numéricas que le son asignadas a algunos dispositivos y servicio informáticos para ser identificados y accedidos en una red.

encuentra instalado el software Ldirectord, monitorea los servidores Alfresco y reenvía hacia ellos las peticiones de los usuarios, balanceando así la carga. En la figura siguiente se muestra la arquitectura de dicha sección.

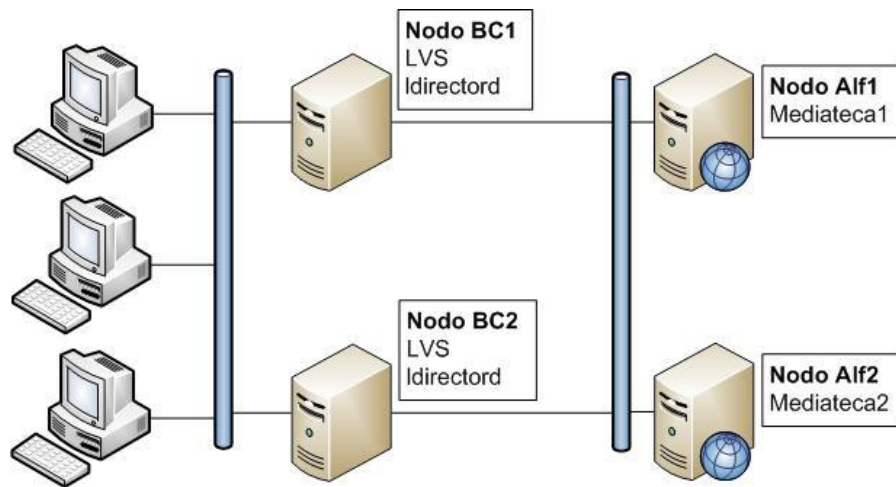


Figura 6. Arquitectura del clúster web (servidores Alfresco y Balanceadores de carga).

La replicación de servidores y el balanceo de carga entre los diferentes Alfrescos asegura la alta disponibilidad del servicio de la Mediateca, y la continuidad operacional de la sección; además, se plantea como una adecuada solución para palear situaciones conflictivas en las que se pueden ver enrolados dichos núcleos tales como: tener que gestionar grandes cúmulos de peticiones concurrentes en determinados momentos, o el alto consumo de recursos y el incremento considerable de dicho consumo en función de las peticiones servidas.

2.3.2 Sección de base de datos

La sección de base de datos constituirá en esencia, un servidor de base de datos. Se utilizará el sistema gestor de base de datos PostgreSQL, ya que es el que por defecto emplea la Mediateca y además es uno de los más utilizados actualmente en el mundo y por su versatilidad en el manejo de grandes objetos binarios, como los que puede generar la Mediateca Digital TeVeó Plus en su manejo de archivos de audio y vídeo. En el servidor que constituirá la sección de base de datos se instalará PostgreSQL en su versión 8.4. En la figura 3 se muestra el diseño de esta sección, y su comunicación con los núcleos Alfresco.

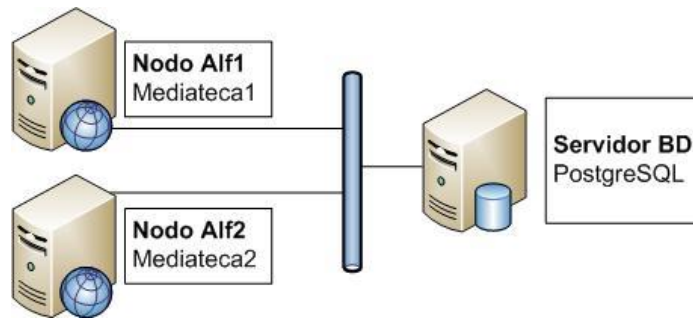


Figura 3. Diseño de la sección de bases de dato.

2.3.3 Sección de almacenamiento compartido

Para esta sección se empleará un servidor en el cual se instalará el software OpenFiler. Este sistema está especialmente diseñado y optimizado para el almacenamiento. Permite convertir con gran facilidad y rapidez una computadora personal en un servidor de almacenamiento capaz de brindar servicios de FTP, SMB o NFS en dependencia de las necesidades. Este sistema se administra mediante una interfaz web que puede ser accedida desde cualquier navegador web. Una de las facilidades que brinda este

software es que organiza el almacenamiento por volúmenes, los cuales contienen arreglos de discos duros. A estos arreglos se les puede agregar múltiples particiones o discos físicos de diferentes tamaños. Lo anterior es transparente a los usuarios, ya que estos acceden a un único recurso de red de gran tamaño de almacenamiento. OpenFiler es el encargado de publicar la unidad de red, mediante el protocolo NFS, que será usada por los núcleos Mediateca para almacenar los contenidos y los índices de Lucene. Al hacer las configuraciones necesarias, ambos núcleos Alfresco almacenarán sus contenidos en su carpeta “alf_data”, la cual no será más que un mismo espacio en red, compartido por OpenFiler, lo cual permite que los mismos contenidos sean visibles en ambos servidores.

2.3.4 Continuidad operacional del sistema y alta disponibilidad de servicios en condiciones adversas

El diseño incluye técnicas de *clustering* con balanceo de carga y alta disponibilidad, precisamente porque de esta manera aumenta la seguridad, confiabilidad, escalabilidad y alta disponibilidad del sistema en conjunto, permitiendo que no se interrumpa el funcionamiento de TeVeo Plus. Como muestra la figura 7, si en la sección de clúster web, el núcleo Mediateca 1 fallara, o por alguna razón no pudiera atender una determinada petición, los servidores balanceadores de carga redireccionarían las peticiones hasta el nodo donde se encuentra el núcleo Mediateca 2. Este núcleo comparte la misma caché y sesión de usuario que Mediateca 1, por lo tanto estaría apto para continuar prestando el servicio.

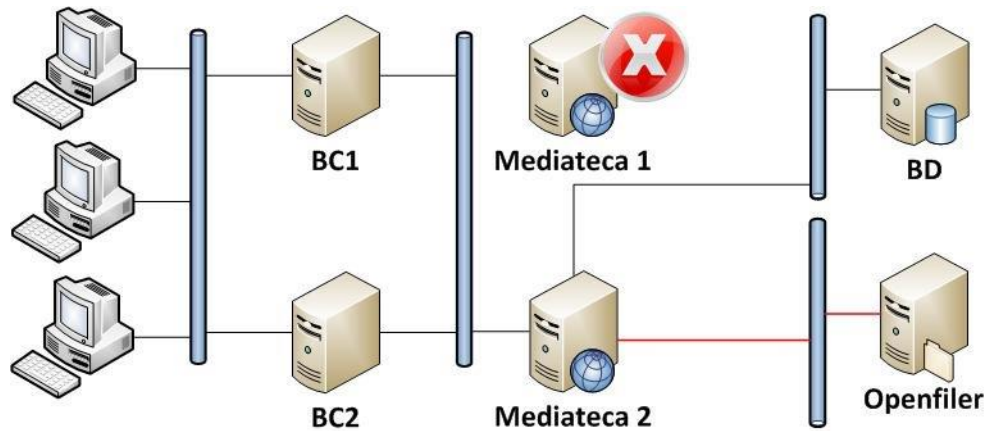


Figura 7. Comportamiento del sistema en caso de fallo de uno de los núcleos Alfresco.

La existencia de varios balanceadores de carga permite que en caso de fallo de uno, otro continúe gestionando las peticiones hechas a los núcleos Alfresco, asegurando alta disponibilidad del servicio brindado por los mismos y continuidad operacional del sistema como muestra la figura 8.

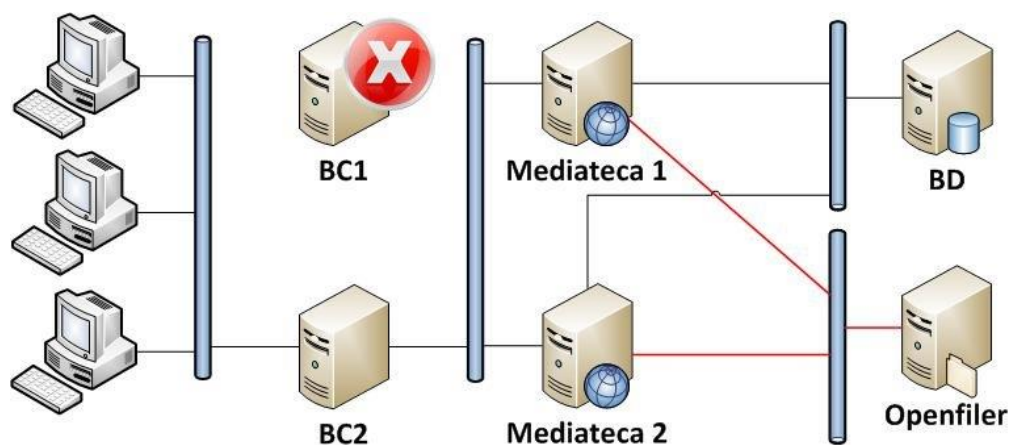


Figura 8. Comportamiento del sistema en caso de fallo de uno de los balanceadores de carga.

2.4 Conclusiones del capítulo

La solución propuesta se ha diseñado teniendo en cuenta que sea posible su instalación en servidores de bajas prestaciones y potenciando la escalabilidad del sistema, aprovechando las ventajas que, en función de estos objetivos ofrece el procesamiento distribuido. El balanceo de carga es un aspecto muy importante en la solución propuesta en aras de lograr alta disponibilidad en el sistema. Es importante tener en cuenta que dadas las características arquitectónicas de la propuesta, la conectividad es un aspecto crítico, y que si bien el empleo de dos o más servidores para asegurar el funcionamiento correcto de determinado servicio como el balanceador de carga o los núcleos Alfresco, en la medida de que se usen más servidores el sistema responderá mejor, pero a la larga pudiera encarecer en términos económicos la propuesta.

Capítulo 3. Validación de la solución propuesta

Actualmente se emplean varias técnicas y procedimientos para validar propuestas de solución similares a la planteada en este trabajo. La elaboración de la estrategia de validación, así como la elección del método a utilizar, están estrechamente relacionadas con las características de la solución propuesta. El uso de pruebas de carga y estrés se ha descartado como método de validación para la solución propuesta, debido a que estas pruebas mostrarían resultados de la efectividad y el comportamiento de la solución, de acuerdo a la infraestructura en la que se ha desplegado y no el escenario real del departamento editorial de un medio de prensa. Además, la validación por este método no permite hacer estimaciones acerca del comportamiento futuro del sistema en condiciones diversas, ni permite identificar los aspectos claves y vulnerables de la solución.

En los casos en que la propuesta de solución consiste en determinada arquitectura de red, como en el presente trabajo, resultan de particular utilidad los métodos de validación mediante el análisis estadístico de los criterios emitidos por profesionales especializados, en cuestiones relacionadas con redes, servicios telemáticos y otros temas afines, luego de la evaluación de la solución por parte de dichos profesionales. Estos métodos, conocidos comúnmente como métodos de “paneles de expertos” tienen como objetivo principal, la obtención de criterios comunes, mediante cuestionarios, sobre la calidad y efectividad de determinada solución, basándose en la experiencia y conocimientos de un grupo de personas, considerados expertos en la materia a evaluar.

3.1 Método *Delphi* de validación

Delphi es un método de validación mediante panel de expertos, creado en los años 50 por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon, especialistas del Centro de Investigación estadounidense *RAND Corporation*. El nombre Delphi proviene del antiguo “Oráculo de Delfos”. Aunque este método inicialmente fue ideado

como un instrumento para realizar predicciones sobre casos de catástrofe nuclear, desde entonces ha sido utilizado frecuentemente como sistema para obtener información sobre comportamiento futuro de disímiles cuestiones en numerosos campos (Sarazola Leyva, 2011).

El método se basa en la organización del diálogo anónimo entre un grupo de expertos consultados. Estos individualmente evalúan la propuesta de solución, dando respuesta a un cuestionario previamente elaborado. Para la elaboración del cuestionario se han de seguir determinadas pautas como son: las preguntas deben ser precisas, cuantificables e independientes; los cuestionarios no deben ser muy extensos y deben estar enfocados a obtener criterios específicos, acerca de los puntos clave de la propuesta de solución, al igual que obtener consensos generales. Las respuestas de los cuestionarios se procesan estadísticamente para conocer la coincidencia o discrepancia que estos tienen en cuanto a lo consultado. Este método posee tres características fundamentales: anonimato, retroalimentación controlada y respuesta estadística del grupo (Marante Valdivia, 2010).

Anonimato: Durante un Delphi, ningún experto conoce la identidad de los otros que componen el grupo de debate. Esto tiene una serie de aspectos positivos, como que:

- Impide la posibilidad de que un miembro del grupo sea influenciado por la reputación de otro de los miembros o por el peso que supone oponerse a la mayoría. La única influencia posible es la de la congruencia de los argumentos.
- Permite que un miembro pueda cambiar sus opiniones sin que eso suponga una pérdida de imagen.
- El experto puede defender sus argumentos con la tranquilidad que da saber que en caso de que sean erróneos, su equivocación no va a ser conocida por los otros expertos (Silva de la Hera, 2009).

Iteración y retroalimentación controlada: La iteración se consigue al presentar varias veces el mismo cuestionario. Como, además, se van presentando los resultados obtenidos con los cuestionarios anteriores, se consigue que los expertos vayan conociendo los distintos puntos de vista y puedan ir modificando su opinión si los argumentos presentados les parecen más apropiados que los suyos (Silva de la Hera, 2009).

Respuesta del grupo en forma estadística: La información que se presenta a los expertos no es sólo el punto de vista de la mayoría, sino que se presentan todas las opiniones indicando el grado de acuerdo que se ha obtenido (Silva de la Hera, 2009).

3.2 Fases del proceso de validación con *Delphi*

Durante el proceso de aplicación del método de validación Delphi se han de seguir una serie de fases básicas las cuales se listan a continuación.

- Elección de expertos.
- Elaboración del cuestionario, para la validación de la propuesta.
- Determinación de la concordancia de los expertos.
- Desarrollo práctico y explotación de resultados.

3.2.1 Elección de los expertos

La elección de los expertos es un aspecto clave del proceso de validación mediante el método Delphi. Esta no puede ser arbitraria y se ha de analizar cuidadosamente las competencias de los candidatos, desde el punto de vista profesional (nivel académico, años de experiencia, vinculación al desarrollo o investigación de productos informáticos, conocimiento acerca de los temas relacionados con la solución a evaluar), teniendo también en cuenta otros aspectos no menos importantes como pudieran ser su

responsabilidad, capacidad de análisis, creatividad, independencia a la hora de emitir criterios y vías que usualmente emplea para actualizar el conocimiento adquirido o incorporar conocimientos nuevos. Estos elementos cualitativos no permiten establecer una comparación precisa entre expertos para seleccionar los más adecuados, por lo que se hace necesario unificarlos en un valor cuantitativo inherente a cada uno de los expertos, que sirva de valor ponderal para poder hacer una comparación matemática más precisa. Este valor es conocido como “coeficiente de competencia”.

Cálculo del coeficiente de competencia

Para la elección de los expertos, se realiza una primera encuesta con un cuestionario que, de cada candidato recoge elementos de sus competencias, según su propia opinión autocrítica. Específicamente, el grado de conocimiento que posee acerca de la temática que se investiga lo muestra el “coeficiente de conocimiento” (K_c), el cual se calcula mediante la multiplicación del valor obtenido en la pregunta 1 (ver anexo 1) por 0,1. El “coeficiente de argumentación del conocimiento adquirido” (K_a) obtenido mediante el procesamiento de los resultados de la pregunta 2 (ver anexo 1), permite por su parte agregar al coeficiente de competencia (K) general, el peso que representa la calidad de las fuentes que usualmente usa este experto para actualizarse y aprender. Posteriormente, se realiza un procesamiento estadístico de los distintos coeficientes obtenidos, a los cuales se le pueden añadir además, tantas variables componentes como se considere necesario para la caracterización de cada experto. El resultado final de este proceso estadístico es el K general para cada experto, el cual es útil para la ponderación cuantitativa de los mismos. En este caso se consideraron como componentes de K las variables K_c y K_a por lo que se empleó para su cálculo la fórmula:

$$K = \frac{K_c + K_a}{2}$$

Teniendo el K general de cada experto, la elección de los integrantes del panel para validar la propuesta de solución, consiste solamente en enmarcar cada experto en una categoría y seleccionar. En este caso se establecieron como de alto nivel los expertos con $K > 0,8$, nivel medio $0,5 < K < 0,8$, bajo $K > 0,5$ y se seleccionaron para formar parte del grupo de validación de la propuesta los de alto nivel de competencias para obtener el mayor nivel de exactitud.

El cuestionario para la selección de los expertos (Ver anexo 1) fue resuelto por varios especialistas. De acuerdo a los coeficientes de competencia calculados para cada uno de los encuestados, en función de sus respuestas, fueron seleccionados 5 expertos, los cuales tienen las siguientes características:

- Graduados de ingeniería en ciencias informáticas.
- Especialistas generales del centro TLM.
- Tienen entre 3 y 4 años de experiencia en temas como instalación y mantenimiento de servicios telemáticos, montaje de centros de datos, tecnología *clustering*, balanceo de carga y alta disponibilidad.
- Son integrantes del “Grupo de montaje de centro de datos de la UCI” y algunos de ellos han montado centros de datos en Venezuela.

3.2.2 Elaboración del cuestionario de validación de la propuesta

Luego de seleccionar los expertos que integrarán el panel de validación, se presenta a los mismos el cuestionario que responderán de forma anónima. Este cuestionario se elabora teniendo en cuenta los aspectos claves de la propuesta de solución, que requieren ser sometidos a consideración de los especialistas para, en dependencia de sus respuestas y opiniones validar o no la propuesta. En un

primer momento se contextualiza al experto, exponiéndole las características de la propuesta; este posteriormente responde cada una de las preguntas del cuestionario de acuerdo a su consideración. Se ha establecido además la posibilidad de que en casos de respuestas negativas, los expertos emitan su criterio o la aclaración que consideren necesaria. En este caso se sometieron a consideración los siguientes aspectos:

- Evaluación de la efectividad de la propuesta en función de su estructura organizacional, que divide en secciones áreas con funciones específicas dentro de la arquitectura (Pregunta 1).
- Evaluación de la efectividad individual de cada una de las secciones de acuerdo a las características de la propuesta y la ubicación que tiene en la topología (Pregunta 2).
- Evaluación del diseño propuesto para la sección de clúster de alta disponibilidad y balanceo de carga de aplicaciones web (Pregunta 3).
- Evaluación del diseño propuesto para la sección de almacenamiento compartido (Pregunta 4).
- Evaluación del diseño propuesto para la sección de base de datos (Pregunta 5).

Con motivo del análisis de los cuestionarios realizados a los especialistas, se tuvieron en cuenta diversos criterios evaluativos. En un primer momento se emplearon criterios cualitativos tales como: (Adecuado, Funcional, No funcional) y (Si, Parcialmente de acuerdo, No) como respuestas posibles para las preguntas; posteriormente, para procesar estos resultados, se utilizaron criterios cuantitativos para hacer medibles matemáticamente las respuestas de los expertos, como se muestra en la tabla siguiente:

Criterios Cualitativos		Criterios Cuantitativos		Símbolo de cada categoría de respuesta
		%	Valor	
Adecuado	Si	(100 - 70)	2	C1
Funcional	Parcial	(69 - 50)	1	C2
No funcional	No	(49 - 0)	0	C3

Tabla 1: Homologación de criterios cualitativos y cuantitativos.

3.2.3 Establecimiento de la concordancia de los expertos

Es necesario establecer el nivel de concordancia que existe entre los expertos, para ello primeramente se crea la tabla de las frecuencias absolutas, la cual recoge las respuestas de los expertos agrupadas por categorías (Ver anexo 3). Posteriormente, mediante los datos de la tabla de frecuencias absolutas se procede a crear la tabla de frecuencias acumuladas. En dicha tabla, cada cifra se obtiene al sumar el valor que coincide en posición en la tabla de frecuencias absolutas, con todos los anteriores, siempre dentro de una misma fila (Ver anexo 3). Luego de crear la tabla de frecuencias acumuladas, se expresa cada uno de sus valores en base a 1 y se obtiene así la tabla de frecuencias relativas acumuladas (Ver anexo 3), que nos permitirá hacer los cálculos necesarios para determinar los puntos de corte de cada una de las categorías de respuestas.

No.		C1	C2	C3	Suma	Nc ¹⁹ P	2,9917118 Nc-P	Concordancia
1	Aspecto 1.1	-0,253347	3,7190165	3,7190165	7,1846859	2,3948953	0,5968165	BUENA
2	Aspecto 2.1	0,8416212	3,7190165	3,7190165	8,2796542	2,7598847	0,231827	BUENA
3	Aspecto 2.2	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
4	Aspecto 2.3	-0,253347	3,7190165	3,7190165	7,1846859	2,3948953	0,5968165	BUENA
5	Aspecto 3.1	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
6	Aspecto 3.2	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
7	Aspecto 3.3	0,2533471	0,8416212	3,7190165	4,8139848	1,6046616	1,3870502	BUENA
8	Aspecto 3.4	0,8416212	3,7190165	3,7190165	8,2796542	2,7598847	0,231827	BUENA
9	Aspecto 3.5	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
10	Aspecto 4.1	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
11	Aspecto 4.2	0,8416212	0,8416212	3,7190165	5,402259	1,800753	1,1909588	BUENA
12	Aspecto 5.1	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
13	Aspecto 5.2	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
14	Aspecto 5.3	3,7190165	3,7190165	3,7190165	11,157049	3,7190165	-0,727305	BUENA
15	Aspecto 5.4	0,2533471	0,2533471	3,7190165	4,2257107	1,4085702	1,5831416	BUENA
Suma		32,276996	46,564787	55,785247	134,62703			
Ptos de Corte		2,1517997	3,1043192	3,7190165				

Tabla 2. Cálculos para la determinación de los puntos de corte.

Los puntos de corte tributan significativamente en la determinación del grado de adecuación de cada paso del procedimiento según la opinión brindada por los expertos consultados. Para realizar el cálculo del grado de adecuación de los aspectos a validar, se debe tener en cuenta los rangos de valores recogidos en la tabla 3, los cuales se han establecido precisamente mediante los puntos de corte.

¹⁹ Nc representa la división de la sumatoria de las sumas de las filas por el resultado de la multiplicación del número de categorías por el número de pasos o aspectos.

BUENA	MEDIA	MALA
N-P =< 2,152	2,1518 < N-P =< 3,104	3,104 < N-P =< 3,719

Tabla 3. Grados de adecuación de los aspectos a validar.

3.2.4 Calculo del coeficiente de Kendall para la validación de la propuesta

Para la validación de la propuesta es necesario procesar las respuestas emitidas por los expertos en los cuestionarios. De alguna manera hay que lograr consenso general, entre los diferentes puntos de vista, para lo que se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall (W), que ayuda a comprobar el grado de coincidencia de las valoraciones realizadas por los expertos. Este constituye un elemento muy útil en estudios de confiabilidad entre expertos de una materia, al determinar la asociación entre distintas variables, y su carácter cuantitativo permite validar o no la propuesta. En este caso será un índice de la divergencia del acuerdo efectivo entre los expertos.

Para la aplicación se construye una tabla de aspectos a evaluar contra expertos, donde se sitúan los rangos de valoración de cada aspecto evaluado por cada uno de los expertos (Ver tabla 1 del anexo 4). Después de la elaboración de la tabla se realizan los siguientes pasos:

- Determinar la suma de los valores numéricos asignados a cada aspecto a evaluar, según el criterio dado por cada experto (R_j) (Marante Valdivia, 2010).
- Determinar el valor medio de las R_j , dado por la sumatoria de los R_j entre N , siendo N el total de aspectos a evaluar (los aspectos serán las preguntas del cuestionario, en este caso $N = 14$) (Marante Valdivia, 2010).
- Determinación de la desviación media, dada por la diferencia entre cada R_j y el valor de la media (Marante Valdivia, 2010).

- Determinación de la suma de los cuadrados de las desviaciones medias, **S** (Marante Valdivia, 2010).
- Determinación del cuadrado del número total de expertos, **K**. En este caso **K** = 13 (Marante Valdivia, 2010).
- Determinación del cubo del número total de aspectos a evaluar, **N** (Marante Valdivia, 2010).
- Determinación de la diferencia entre el cubo de **N** y **N** y su multiplicación por el cuadrado de **K** (Marante Valdivia, 2010).

Una vez que se tienen todos estos datos es posible calcular el coeficiente de Kendall (**W**) a través de la fórmula siguiente (Marante Valdivia, 2010):

$$W = \frac{12s}{k^2 (N^3 - N)}$$

El coeficiente **W** ofrece el valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos. El valor de **W** siempre es positivo y oscila entre 0 y 1. Con el coeficiente de Kendall se puede calcular el Chi cuadrado real con el objetivo de ver si existe o no concordancia entre los expertos, el mismo se obtiene a través de la fórmula siguiente: $\chi^2 = K (N - 1) W$ (Marante Valdivia, 2010). El Chi cuadrado calculado se compara con el de la tabla inversa de la función de distribución de la variable Chi-Cuadrado (Bouza y otros, 2004). Si χ^2 real < $\chi^2 (\alpha, N-1)$, entonces existe concordancia en el trabajo de los expertos (Marante Valdivia, 2010).

Luego de la realización de los cálculos pertinentes (ver anexo 4), estos arrojaron que χ^2 real = 0,215155556 y el $\chi^2 (0.05, 14) = 6,571$ lo cual corrobora el cumplimiento de la comparación. Podemos afirmar entonces que existe concordancia entre los expertos y por tanto la propuesta es válida.

3.3 Conclusiones del capítulo

Si se analizan las frecuencias absolutas y acumuladas de las respuestas a los cuestionarios (Ver anexo 3), se observa un nivel de concordancia “BUENA” entre las mismas, además, la gráfica 1 del anexo 3, muestra que más del 83 % de las respuestas fueron de categoría máxima (C1 = “si” = “adecuado”). En el gráfico 1 del anexo 4 se observa que 14 de los 15 aspectos a validar, obtuvieron 70 % o más, de adecuación según la opinión de los expertos y 8 de esos aspectos obtuvieron 100 % de adecuación. Lo anterior y de comparar los valores del Chi real y el Chi esperado (ver anexo 4) se puede afirmar que la propuesta es válida, y que aunque existen aspectos vulnerables, en sentido general se plantea como una solución adecuada al problema planteado.

Conclusiones generales

El estudio de conceptos teóricos, las herramientas, así como los diferentes sistemas homólogos implementados en Cuba y en el resto del mundo, que resuelven problemas similares al planteado, ha permitido concluir, que una arquitectura en la que se aplique el balanceo de carga y se realice el procesamiento distribuido de las tareas complicadas permitirá:

- Disponer de una infraestructura capaz de enfrentar adecuadamente el alto consumo de recursos del sistema TeVeo Plus.
- Emplear máquinas de pocas prestaciones para el despliegue de TeVeo Plus.
- Potenciar aspectos tan importantes como la escalabilidad y la alta disponibilidad del sistema, de manera tal que TeVeo Plus pueda funcionar correctamente y el mayor tiempo posible.

Luego de la implementación de la propuesta se concluyó que:

- El balanceo de carga es un aspecto muy importante en la solución propuesta en aras de lograr alta disponibilidad en el sistema.
- Dadas las características arquitectónicas de la propuesta, la conectividad es un aspecto crítico.
- Si bien el empleo de dos o más servidores para asegurar el funcionamiento correcto de determinado servicio, como el balanceador de carga o los núcleos Alfresco, es una buena solución, en la medida de que se usen más servidores el sistema responderá mejor, pero a la larga pudiera encarecer en términos económicos la propuesta.

Recomendaciones

- Se recomienda que en próximos estudios y despliegues se valore la posibilidad de implementar las secciones de almacenamiento compartido y base de datos, en modo clúster, de la misma manera que la sección web, evitando así los cuellos de botella y potenciando la escalabilidad y alta disponibilidad del sistema.
- Se recomienda que se estudien a fondo las características de todas las aplicaciones dentro del sistema TeVeo Plus, ya que existen configuraciones específicas en algunas de ellas que pudieran mejorar el rendimiento de las mismas y por consiguiente traerían un aprovechamiento óptimo de los recursos de hardware y contribuirían a elevar la alta disponibilidad del sistema en general.

Referencias bibliográficas

Horms Solutions Ltd. Sitio oficial de Idirectord. What Idirectord is. **2010**. [Disponible en: <http://horms.net/projects/ldirectord/>].

Alfresco Software. Alfresco.com. **2013**. [Disponible en: <http://www.alfresco.com/>].

Almaguer Chávez, Dayrel y García Rivera, Dysán. Clúster de servidores de bases de datos para aplicaciones web, sobre software libre. UCI (Facultad 7). La Habana. **2008**. 113.

Benítez Llanes, Yeneir. Sistema de Gestión Documental de Medias para la Prensa. UCI (Facultad 1). La Habana. **2012**. 71.

Bouza, C. N. y Sistachs, V. Estadística. Teoría básica y ejercicios. La Habana. Editorial Félix Varela. **2004**.

Canolincal Ltd. Fluxbuntu. Sitio oficial de Fluxbuntu. **2012**. [Disponible en: <http://www.fluxbuntu.org/>].

Canonical Ltd. Lubuntu. Sitio oficial de Lubuntu. **2012**. [Disponible en: <http://www.lubuntu.es/>].

Canonical Ltd. Xubuntu. Sitio oficial de Xubuntu. **2012**. [Disponible en: <http://xubuntu.org/>].

Centro CIDI. Curso de gestión documental y archivística. Arquitectura interna del Alfresco. UCI (Facultad 1), **2011**.

Centro CIDI. Estudio de Prefactibilidad Tecnológica para la Gestión Documental de Imágenes Digitales. UCI (Facultad 1). La Habana. **2011**.

Centro CIDI. Informe del Programa de informatización para la prensa. UCI (Facultad 1). La Habana. **2009.**

Debian Project. Sitio oficial de Debian. **2012.** [Disponible en: <http://www.debian.org/intro/about#what>].

Elteto. e-abaco.net. Tecnologías de almacenamiento de red SAN, NAS, y DAS. **2009.** [Disponible en: <http://www.e-abaco.net/2009/05/11/tecnologias-de-almacenamiento-de-red-san-nas-das/>].

Financial Tech Magazine. El crecimiento de la información digital supera todas las previsiones, según estudio de IDC. **2009.** [Disponible en: http://www.financialtech-mag.com/000_estructura/index.php?id=24&ntt=11247&sec=17&vn=1&idb=182].

FreeNAS Project. Sitio oficial de FreeNAS. **2011.** [Disponible en: <http://www.freenas.org/>].

García Berdayes, Andro. Técnicas para balancear la carga en Servidores Proxy, Aplicaciones Web y Base Datos. Técnicas para balancear la carga en Servidores Proxy, Aplicaciones Web y Base Datos. UCI (Facultad 2). La Habana. **2008.** 78.

Genbeta. GENBETA, web + software. OpenStack, *cloud computing* de código abierto. **2010.** [Disponible en: <http://www.genbeta.com/actualidad/openstack-cloud-computing-de-codigo-abierto>].

Hernández Pérez, Mayrel. Clúster de Balance de Carga y Alta Disponibilidad para el Sistema de Gestión Editorial para el periódico Granma. UCI (Facultad 1). La Habana. **2011.** 79.

ICIMAF. Instituto de Cibernética, Matemática y Física. **2012.** [Disponible en: <http://www.icmf.inf.cu/?q=node/4>].

Keepalive Project. 2012. KEEPALIVED FOR LINUX. Keepalive Features. **2012.** [Disponible en: <http://www.keepalived.org/>].

Kroll Ontrack. Sitio oficial de Ontrack Data Recovery. Nuevas tecnologías en sistemas de almacenamiento. **2013.** [Disponible en: http://www.ontrackdatarecovery.es/sistalmacen_0904/].

LVS Project. Sitio oficial de LVS. Linux Server Cluster for Load Balancing. **2012.** [Disponible en: <http://www.linuxvirtualserver.org/>].

Marante Valdivia, Marbys. Tesis de maestría: Proceso para planear la cartera de servicios en la adopción de una iniciativa SOA. Metodo Delphi de validación. UCI. La Habana. **2010.** 85.

Martínez Jiménez, Marcos y Bergés Pujol, Gabriel. Arquitecturas de Clustering de Alta Disponibilidad y Escalabilidad (Linux Virtual Server), ACADE (LVS). Definición de balanceo de carga. **2003.** 132.

Martínez Jiménez, Marcos y Bergés Pujol, Gabriel. Arquitecturas de Clustering de Alta Disponibilidad y Escalabilidad (Linux Virtual Server), ACADE (LVS). Definición de alta disponibilidad. **2003.** 132.

OpenFiler. Sitio oficial de OpenFiler. Open Source Storage Management OpenFiler - Features. **2012.** [Disponible en: <http://www.openfiler.com/about/about>].

OpenStack project. 2013. Sitio oficial de OpenStack. OpenStack, Open Source Cloud Computing Software. **2013.** [Disponible en: <http://www.openstack.org/software/openstack-storage>].

Orduñez Santana, Yoemir. Clúster de altas prestaciones para medianas y pequeñas bases de datos que utilizan a PostgreSQL como sistema de gestión de bases de datos. UCI (Facultad 15). La Habana. **2010.** 60.

- Peña Montero, Adrián Misael.** Clúster de servidores web para aplicaciones desarrolladas sobre software libre que soportan altos niveles de concurrencia. UCI (Facultad 7). La Habana. **2008.** 106.
- Pgpool Project.** Pgpool.net. Características de Pgpool. **2013.** [Disponible en: <http://www.pgpool.net>].
- Proyecto NOVA.** Blog oficial del Nova. **2012.** [Disponible en: <http://blogs.prod.uci.cu/nova/>].
- Sarazola Leyva, Arlety.** Propuesta del Esquema de alta disponibilidad del Sistema de Gestión Documental de Fotografías para la prensa. Metodo Delphi. UCI (Facultad 10). La Habana. **2011.** 82.
- Silva de la Hera, Maggie Arminda.** Tesis de maestría: Propuesta de un modelo de Ingeniería de Requisitos para los proyectos del Polo Video y Sonido Digital. Características fundamentales del método Delphi. UCI (Facultad 9). La Habana. **2009.** 125.
- Squid proyect.** Sitio oficial de Squid. **2012.** [Disponible en: <http://www.squid-cache.org/>].
- Varnish Community.** Sitio oficial de Varnish. **2012.** [Disponible en: <https://www.varnish-cache.org/>].
- Veiga de Cabo, Jorge.** Explosión cuantitativa de la difusión del conocimiento con la invención de la imprenta por Gutenberg. **2003.** [Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112003000400001&script=sci_arttext].
- W3C.** Guía Breve de Servicios Web. ¿Qué es un servicio web?. **2010.** [Disponible en: <http://www.w3c.es/divulgacion/guiasbreves/ServiciosWeb>].

Anexos

Anexo 1: Encuesta de autovaloración para determinar el coeficiente de competencia de los expertos

Compañero (a):

En el presente Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas, se desea someter a la valoración de un grupo de expertos una propuesta de esquema de alta disponibilidad para garantizar la continuidad operacional del Sistema de Gestión Documental de archivos de audio y vídeo TeVeó Plus. Para ello se necesita conocer el grado de dominio que usted posee sobre la implementación de clústeres y sistemas que aseguren balanceo de carga y alta disponibilidad de servicios.

Nombre y Apellidos: _____

Labor que realiza: _____

Años de experiencia: _____ **Especialidad:** _____

Categoría docente: _____ **Categoría científica:** _____

1.- Marque con una cruz (X) el grado de conocimiento que UD. tiene sobre la temática que se investiga:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2.- Marque con una cruz (X) las fuentes que le han servido para argumentar el conocimiento que tiene UD. de la temática que se investiga.

No.	Fuentes de Argumentación	Grado de Influencia		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teórico realizado por usted.			
2	Experiencia obtenida.			
3	Trabajos de autores nacionales.			
4	Trabajos de autores extranjeros			

3.- ¿Cuántos años de experiencia de trabajo tiene en temas tales como: instalación y mantenimiento de servicios telemáticos, montaje de centros de datos, tecnología *clustering*, balanceo de carga y alta disponibilidad?

4.- ¿Qué grado científico, título académico y/o cursos de postgrado posee?

Anexo 2: Cuestionario para la validación de la propuesta de solución

1. Considere la arquitectura general de la solución propuesta, dividida por secciones de acuerdo a la función que cumple cada uno de los componentes y emita un criterio general acerca de la organización de la misma.

Adecuada Funcional No Funcional.

2. Califique las diferentes secciones según su ubicación y desempeño en la topología de red mostrada en la figura 1.

Aspectos	Calificación		
	Adecuada	Funcional	No Funcional
Sección de clúster web			
Sección de BD			
Sección de almacenamiento			

3. En la sección de clúster de alta disponibilidad y balanceo de carga web:

3.1 ¿Considera LVS como balanceador de carga efectivo para aplicaciones web y dada la ubicación mostrada en la figura 1?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

3.2 ¿Considera usted que ldirectord es una aplicación adecuada para proveer la alta disponibilidad de LVS?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

3.3 ¿Considera que la gestión de peticiones de usuarios que se hace de acuerdo a la solución propuesta, permite servir cúmulos relativamente grandes de las mismas sin vulnerar la continuidad operacional del sistema?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

3.4 ¿Considera que debido a las características de alto consumo de recursos de hardware del ECM Alfresco, el balanceo de carga es una buena solución para asegurar alta disponibilidad de los mismos y continuidad operacional en el sistema?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

3.5 ¿Considera que el replicar el balanceador de carga así como el Alfresco asegura alta disponibilidad de esta sección del sistema?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

4. En la sección de almacenamiento:

4.1 ¿Considera que OpenFiler es una herramienta adecuada y una buena alternativa para darle solución al almacenamiento en red haciendo uso de máquinas con pocas prestaciones y no especialmente diseñados para esta función?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

4.2 ¿Considera que el almacenamiento de los contenidos del ECM Alfresco, mediante el consumo del recurso de red provisto por OpenFiler, eleva la escalabilidad del sistema y disminuye el tiempo de recuperación en caso de fallo en el ECM Alfresco?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

5. En la sección de base de datos:

5.1 ¿Considera a Pgpool-II como un balanceador de carga adecuado para bases de datos PostgreSQL y efectivo de acuerdo a la topología propuesta?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

5.2 ¿Considera a Heartbeat como una aplicación adecuada para proveer la alta disponibilidad de Pgpool-II?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

5.3 ¿Considera que el gestionar las bases de datos del ECM Alfresco de forma centralizada, eleva la escalabilidad del sistema y que disminuye el tiempo de recuperación en caso de fallo en algún en el ECM Alfresco?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

5.4 ¿Considera que la base de datos del Alfresco en modo clúster eleva la capacidad de respuesta a grandes volúmenes de consultas en momentos determinados?

Sí ___ No___ De ser negativa su respuesta agradecemos sus recomendaciones.

Anexo 3: Tablas de frecuencias de las con las respuestas de los expertos

Frecuencia absoluta					
No.		A	F	NF	Total
1	Aspecto 1.1	2	3	0	5
2	Aspecto 2.1	4	1	0	5
3	Aspecto 2.2	5	0	0	5
4	Aspecto 2.3	2	3	0	5
5	Aspecto 3.1	5	0	0	5
6	Aspecto 3.2	5	0	0	5
7	Aspecto 3.3	3	1	1	5
8	Aspecto 3.4	4	1	0	5
9	Aspecto 3.5	5	0	0	5
10	Aspecto 4.1	5	0	0	5
11	Aspecto 4.2	4	0	1	5
12	Aspecto 5.1	5	0	0	5
13	Aspecto 5.2	5	0	0	5
14	Aspecto 5.3	5	0	0	5
15	Aspecto 5.4	3	0	2	5

Frecuencia acumulada					
No.		A	F	NF	Total
1	Aspecto 1.1	2	5	5	12
2	Aspecto 2.1	4	5	5	14
3	Aspecto 2.2	5	5	5	15
4	Aspecto 2.3	2	5	5	12
5	Aspecto 3.1	5	5	5	15
6	Aspecto 3.2	5	5	5	15
7	Aspecto 3.3	3	4	5	12
8	Aspecto 3.4	4	5	5	14
9	Aspecto 3.5	5	5	5	15
10	Aspecto 4.1	5	5	5	15
11	Aspecto 4.2	4	4	5	13
12	Aspecto 5.1	5	5	5	15
13	Aspecto 5.2	5	5	5	15
14	Aspecto 5.3	5	5	5	15

15	Aspecto 5.4	3	3	5	11
----	-------------	---	---	---	----

Frecuencia relativa acumulada					
No.		A	F	NF	Total
1	Aspecto 1.1	0,4	0,9999	0,9999	2,3998
2	Aspecto 2.1	0,8	0,9999	0,9999	2,7998
3	Aspecto 2.2	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
4	Aspecto 2.3	0,4	0,9999	0,9999	2,3998
5	Aspecto 3.1	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
6	Aspecto 3.2	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
7	Aspecto 3.3	0,6	0,8	0,9999	2,3999
8	Aspecto 3.4	0,8	0,9999	0,9999	2,7998
9	Aspecto 3.5	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
10	Aspecto 4.1	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
11	Aspecto 4.2	0,8	0,8	0,9999	2,5999
12	Aspecto 5.1	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
13	Aspecto 5.2	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
14	Aspecto 5.3	0,9999	0,9999	0,9999	2,9997
15	Aspecto 5.4	0,6	0,6	0,9999	2,1999

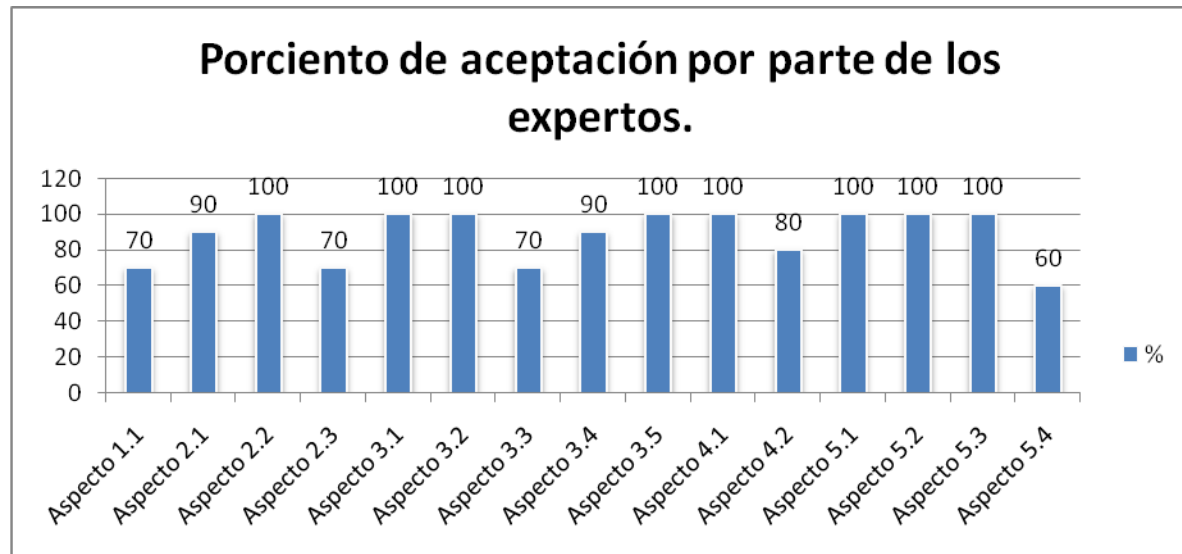


Grafico 1: Por ciento de respuestas (por categoría) ofrecidas por los expertos.

Anexo 4: Cálculo del coeficiente de concordancia de Kendall

No.		Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Rj	%	Desviación (Rj-MRj)	(Rj-MRj) ²
1	Aspecto 1.1	1	1	1	2	2	7	70	-1,866666667	3,484444444
2	Aspecto 2.1	1	2	2	2	2	9	90	0,133333333	0,017777778
3	Aspecto 2.2	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
4	Aspecto 2.3	1	1	2	1	2	7	70	-1,866666667	3,484444444
5	Aspecto 3.1	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
6	Aspecto 3.2	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
7	Aspecto 3.3	1	0	2	2	2	7	70	-1,866666667	3,484444444
8	Aspecto 3.4	1	2	2	2	2	9	90	0,133333333	0,017777778
9	Aspecto 3.5	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
10	Aspecto 4.1	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
11	Aspecto 4.2	2	0	2	2	2	8	80	-0,866666667	0,751111111
12	Aspecto 5.1	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
13	Aspecto 5.2	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
14	Aspecto 5.3	2	2	2	2	2	10	100	1,133333333	1,284444444
15	Aspecto 5.4	0	0	2	2	2	6	60	-2,866666667	8,217777778
							133	88,67		
							Suma de los Rj			

Tabla 1: Respuestas ofrecidas por los expertos a cada aspecto sometido a su consideración.



Grafica 1: Por ciento de aceptación de cada aspecto.

K: es el número de expertos que intervienen en el proceso de validación, por lo que toma el valor 5.

N: cantidad de aspectos a validar. En este caso $N = 15$.

R_j: es la suma de los rangos asignados a cada pregunta por parte de los expertos.

$$MR_j = \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{N}$$

MR_j: es la media de los rangos y se determina mediante la fórmula:

obteniéndose el valor de **MR_j** = $(R_1+R_2+\dots+R_n)/N = 133/15 = 8,86666667$

S: es la suma de los cuadrados de las desviaciones y se calcula de la siguiente forma:

$$S = \sum_{j=1}^n (R_j - MR_j)^2 \quad \text{donde } S = 21,515556$$

$$W = \frac{12s}{k^2 (N^3 - N)}$$

W: es el coeficiente de Kendall y se calcula mediante la fórmula siguiente:

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación **W = 0,00307365**. Luego se procede con el cálculo del Chi-Cuadrado para poder ver si existe concordancia entre los expertos: $\chi^2 = K (N - 1) W = 5 * (15-1) * 0,00307365 = 0,21515556$. Este Chi-Cuadrado se compara con el de la tabla inversa de la función de distribución de la variable Chi-Cuadrado con una probabilidad de error de 0,05. Si el Chi-Cuadrado real (χ^2_{real}) es menor que el Chi Cuadrado de la tabla ($\chi^2 (\alpha, N-1)$) entonces hay concordancia como podemos ver a continuación:

$$\chi^2_{\text{real}} < \chi^2 (\alpha, N-1).$$

$$\chi^2_{\text{real}} < \chi^2 (0,05, 14)$$

$$0,2152 < 6,571$$

Anexo 5: Tabla de valores de distribución Chi

Tabla Distribución de Chi cuadrado Inversa															
k \ P	0,01	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,9	0,95	0,99
1	0	0,004	0,016	0,064	0,102	0,148	0,275	0,455	0,708	1,074	1,323	1,642	2,706	3,841	6,635
2	0,02	0,103	0,211	0,446	0,575	0,713	1,022	1,386	1,833	2,408	2,773	3,219	4,605	5,991	9,21
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,213	1,424	1,869	2,366	2,946	3,665	4,108	4,642	6,251	7,815	11,34
4	0,297	0,711	1,064	1,649	1,923	2,195	2,753	3,357	4,045	4,878	5,385	5,989	7,779	9,488	13,28
5	0,554	1,145	1,61	2,343	2,675	3	3,656	4,351	5,132	6,064	6,626	7,289	9,236	11,07	15,09
6	0,872	1,635	2,204	3,07	3,455	3,828	4,57	5,348	6,211	7,231	7,841	8,558	10,64	12,59	16,81
7	1,239	2,167	2,833	3,822	4,255	4,671	5,493	6,346	7,283	8,383	9,037	9,803	12,02	14,07	18,48
8	1,647	2,733	3,49	4,594	5,071	5,527	6,423	7,344	8,351	9,524	10,22	11,03	13,36	15,51	20,09
9	2,088	3,325	4,168	5,38	5,899	6,393	7,357	8,343	9,414	10,66	11,39	12,24	14,68	16,92	21,67
10	2,558	3,94	4,865	6,179	6,737	7,267	8,295	9,342	10,47	11,78	12,55	13,44	15,99	18,31	23,21
11	3,053	4,575	5,578	6,989	7,584	8,148	9,237	10,34	11,53	12,9	13,7	14,63	17,28	19,68	24,73
12	3,571	5,226	6,304	7,807	8,438	9,034	10,18	11,34	12,58	14,01	14,85	15,81	18,55	21,03	26,22
13	4,107	5,892	7,041	8,634	9,299	9,926	11,13	12,34	13,64	15,12	15,98	16,98	19,81	22,36	27,69
14	4,66	6,571	7,79	9,467	10,17	10,82	12,08	13,34	14,69	16,22	17,12	18,15	21,06	23,68	29,14
15	5,229	7,261	8,547	10,31	11,04	11,72	13,03	14,34	15,73	17,32	18,25	19,31	22,31	25	30,58
16	5,812	7,962	9,312	11,15	11,91	12,62	13,98	15,34	16,78	18,42	19,37	20,47	23,54	26,3	32
17	6,408	8,672	10,09	12	12,79	13,53	14,94	16,34	17,82	19,51	20,49	21,61	24,77	27,59	33,41
18	7,015	9,39	10,86	12,86	13,68	14,44	15,89	17,34	18,87	20,6	21,6	22,76	25,99	28,87	34,81
19	7,633	10,12	11,65	13,72	14,56	15,35	16,85	18,34	19,91	21,69	22,72	23,9	27,2	30,14	36,19
20	8,26	10,85	12,44	14,58	15,45	16,27	17,81	19,34	20,95	22,77	23,83	25,04	28,41	31,41	37,57
21	8,897	11,59	13,24	15,44	16,34	17,18	18,77	20,34	21,99	23,86	24,93	26,17	29,62	32,67	38,93
22	9,542	12,34	14,04	16,31	17,24	18,1	19,73	21,34	23,03	24,94	26,04	27,3	30,81	33,92	40,29
23	10,2	13,09	14,85	17,19	18,14	19,02	20,69	22,34	24,07	26,02	27,14	28,43	32,01	35,17	41,64
24	10,86	13,85	15,66	18,06	19,04	19,94	21,65	23,34	25,11	27,1	28,24	29,55	33,2	36,42	42,98
25	11,52	14,61	16,47	18,94	19,94	20,87	22,62	24,34	26,14	28,17	29,34	30,68	34,38	37,65	44,31
26	12,2	15,38	17,29	19,82	20,84	21,79	23,58	25,34	27,18	29,25	30,43	31,79	35,56	38,89	45,64
27	12,88	16,15	18,11	20,7	21,75	22,72	24,54	26,34	28,21	30,32	31,53	32,91	36,74	40,11	46,96
28	13,56	16,93	18,94	21,59	22,66	23,65	25,51	27,34	29,25	31,39	32,62	34,03	37,92	41,34	48,28
29	14,26	17,71	19,77	22,48	23,57	24,58	26,48	28,34	30,28	32,46	33,71	35,14	39,09	42,56	49,59
30	14,95	18,49	20,6	23,36	24,48	25,51	27,44	29,34	31,32	33,53	34,8	36,25	40,26	43,77	50,89
31	15,66	19,28	21,43	24,26	25,39	26,44	28,41	30,34	32,35	34,6	35,89	37,36	41,42	44,99	52,19
32	16,36	20,07	22,27	25,15	26,3	27,37	29,38	31,34	33,38	35,66	36,97	38,47	42,58	46,19	53,49
33	17,07	20,87	23,11	26,04	27,22	28,31	30,34	32,34	34,41	36,73	38,06	39,57	43,75	47,4	54,78

34	17,79	21,66	23,95	26,94	28,14	29,24	31,31	33,34	35,44	37,8	39,14	40,68	44,9	48,6	56,06
35	18,51	22,47	24,8	27,84	29,05	30,18	32,28	34,34	36,47	38,86	40,22	41,78	46,06	49,8	57,34
36	19,23	23,27	25,64	28,73	29,97	31,12	33,25	35,34	37,5	39,92	41,3	42,88	47,21	51	58,62
37	19,96	24,07	26,49	29,64	30,89	32,05	34,22	36,34	38,53	40,98	42,38	43,98	48,36	52,19	59,89
38	20,69	24,88	27,34	30,54	31,81	32,99	35,19	37,34	39,56	42,05	43,46	45,08	49,51	53,38	61,16
39	21,43	25,7	28,2	31,44	32,74	33,93	36,16	38,34	40,59	43,11	44,54	46,17	50,66	54,57	62,43
40	22,16	26,51	29,05	32,34	33,66	34,87	37,13	39,34	41,62	44,16	45,62	47,27	51,81	55,76	63,69
41	22,91	27,33	29,91	33,25	34,58	35,81	38,11	40,34	42,65	45,22	46,69	48,36	52,95	56,94	64,95
42	23,65	28,14	30,77	34,16	35,51	36,75	39,08	41,34	43,68	46,28	47,77	49,46	54,09	58,12	66,21
43	24,4	28,96	31,63	35,07	36,44	37,7	40,05	42,34	44,71	47,34	48,84	50,55	55,23	59,3	67,46
44	25,15	29,79	32,49	35,97	37,36	38,64	41,02	43,34	45,73	48,4	49,91	51,64	56,37	60,48	68,71
45	25,9	30,61	33,35	36,88	38,29	39,58	42	44,34	46,76	49,45	50,98	52,73	57,51	61,66	69,96
46	26,66	31,44	34,22	37,8	39,22	40,53	42,97	45,34	47,79	50,51	52,06	53,82	58,64	62,83	71,2
47	27,42	32,27	35,08	38,71	40,15	41,47	43,94	46,34	48,81	51,56	53,13	54,91	59,77	64	72,44
48	28,18	33,1	35,95	39,62	41,08	42,42	44,92	47,34	49,84	52,62	54,2	55,99	60,91	65,17	73,68
49	28,94	33,93	36,82	40,53	42,01	43,37	45,89	48,33	50,87	53,67	55,27	57,08	62,04	66,34	74,92
50	29,71	34,76	37,69	41,45	42,94	44,31	46,86	49,33	51,89	54,72	56,33	58,16	63,17	67,5	76,15
51	30,48	35,6	38,56	42,36	43,87	45,26	47,84	50,33	52,92	55,78	57,4	59,25	64,3	68,67	77,39
52	31,25	36,44	39,43	43,28	44,81	46,21	48,81	51,33	53,94	56,83	58,47	60,33	65,42	69,83	78,62
53	32,02	37,28	40,31	44,2	45,74	47,16	49,79	52,33	54,97	57,88	59,53	61,41	66,55	70,99	79,84
54	32,79	38,12	41,18	45,12	46,68	48,11	50,76	53,33	55,99	58,93	60,6	62,5	67,67	72,15	81,07
55	33,57	38,96	42,06	46,04	47,61	49,06	51,74	54,33	57,02	59,98	61,67	63,58	68,8	73,31	82,29
56	34,35	39,8	42,94	46,96	48,55	50,01	52,71	55,33	58,04	61,03	62,73	64,66	69,92	74,47	83,51
57	35,13	40,65	43,82	47,88	49,48	50,96	53,69	56,33	59,06	62,08	63,79	65,74	71,04	75,62	84,73
58	35,91	41,49	44,7	48,8	50,42	51,91	54,67	57,33	60,09	63,13	64,86	66,82	72,16	76,78	85,95
59	36,7	42,34	45,58	49,72	51,36	52,86	55,64	58,33	61,11	64,18	65,92	67,89	73,28	77,93	87,17
60	37,48	43,19	46,46	50,64	52,29	53,81	56,62	59,33	62,13	65,23	66,98	68,97	74,4	79,08	88,38
70	45,44	51,74	55,33	59,9	61,7	63,35	66,4	69,33	72,36	75,69	77,58	79,71	85,53	90,53	100,4
80	53,54	60,39	64,28	69,21	71,14	72,92	76,19	79,33	82,57	86,12	88,13	90,41	96,58	101,9	112,3
90	61,75	69,13	73,29	78,56	80,62	82,51	85,99	89,33	92,76	96,52	98,65	101,1	107,6	113,1	124,1
100	70,06	77,93	82,36	87,95	90,13	92,13	95,81	99,33	102,9	106,9	109,1	111,7	118,5	124,3	135,8
110	78,46	86,79	91,47	97,36	99,67	101,8	105,6	109,3	113,1	117,3	119,6	122,2	129,4	135,5	147,4
120	86,92	95,7	100,6	106,8	109,2	111,4	115,5	119,3	123,3	127,6	130,1	132,8	140,2	146,6	159
130	95,45	104,7	109,8	116,3	118,8	121,1	125,3	129,3	133,4	137,9	140,5	143,3	151	157,6	170,4
140	104	113,7	119	125,8	128,4	130,8	135,1	139,3	143,6	148,3	150,9	153,9	161,8	168,6	181,8
150	112,7	122,7	128,3	135,3	138	140,5	145	149,3	153,8	158,6	161,3	164,3	172,6	179,6	193,2
160	121,3	131,8	137,5	144,8	147,6	150,2	154,9	159,3	163,9	168,9	171,7	174,8	183,3	190,5	204,5
170	130,1	140,8	146,8	154,3	157,2	159,9	164,7	169,3	174	179,2	182	185,3	194	201,4	215,8

180	138,8	150	156,2	163,9	166,9	169,6	174,6	179,3	184,2	189,4	192,4	195,7	204,7	212,3	227,1
190	147,6	159,1	165,5	173,4	176,5	179,3	184,4	189,3	194,3	199,7	202,8	206,2	215,4	223,2	238,3
200	156,4	168,3	174,8	183	186,2	189	194,3	199,3	204,4	210	213,1	216,6	226	234	249,4