

## DISEÑO DE UN CLÚSTER CON COMPUTADORAS DADAS DE BAJA, COMO ALTERNATIVA DE BAJO COSTO FRENTE A ORDENADORES DE ALTO RENDIMIENTO

Cluster Design with not Active Computers as a Low Cost Alternative from High-Performance Computer

### RESUMEN

En este documento se describen los aspectos relacionados con el diseño de un sistema tipo clúster con equipos dados de baja (no activos) que se pueden encontrar en las empresas. Para lograr este objetivo se han analizado las diferentes soluciones clúster existentes de tal forma que se aplique una de ellas a un conjunto heterogéneo de computadores de tal que para los usuarios y aplicaciones aparezcan como una sola máquina de altas prestaciones. También se ha tenido en cuenta el análisis de dicho diseño que permita determinar su viabilidad tanto técnica como económica.

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas distribuidos, clúster, residuos tecnológicos, infraestructura tecnológica, kerrighed, sistemas operativos, SSI.

### ABSTRACT

This paper describes the design aspects of a cluster system with not active computers that can be found in enterprises. To achieve this goal we have analyzed the different cluster solutions existing so that one of them applies to a heterogeneous set of computers so that users and applications appear as a single high-performance machine. It also took account of the design analysis to determine their technical and economic viability.

**KEYWORDS:** Distributed systems, cluster, technological waste, technological infrastructure, kerrighed, operating systems, SSI.

### INTRODUCCIÓN

Los sistemas clúster son actualmente una de las alternativas en busca de emular lo que los supercomputadores pueden realizar usando ordenadores comunes, organizados de forma tal que brinden capacidades muy altas. Algunos proyectos previos ya han tratado este problema con éxito y han generado aplicativos en busca de facilitar la implantación de estas soluciones de la forma más rápida y simple posible.

Este enfoque que ya ha dado sus resultados en proyectos, como el Beowulf, ha demostrado ser muy exitosos, y aún cuando otros sistemas han nacido y crecido en los últimos años, sigue estando vigente y aplicable a los problemas de hoy.

Otro enfoque, precisamente el que se trata en este proyecto, busca que todas las máquinas se vean como una sola para las aplicaciones que se ejecutan, sin importar si estas últimas han sido modificadas en su código de forma que sean consideradas como paralelas o no. Esto se conoce como SSI (Imagen

Única del Sistema) y al respecto se encuentran trabajos o sistemas clúster ya desarrollados y disponibles como:

- Mosix
- OpenMosix
- OpenSSI
- Kerrighed.

El propósito de este documento es mostrar la investigación realizada con el fin de presentar un diseño tipo clúster realizado con equipos que ya no se usan, que pasaron a estar inactivos dentro de las empresas, para que puedan ser usados como ordenadores de altas prestaciones en los cuales ejecutar software que consume altos recursos, como sistemas de bases de datos, sistemas CAD, entre otros. Además también se busca determinar su viabilidad.

Este documento tiene la siguiente presentación: Inicialmente se hace una descripción de los problemas que pueden generar la necesidad del diseño de un sistema tipo clúster, en la siguiente sección se hace una descripción de lo que es un

**GERMÁN ANDRÉS  
OLANO TREJOS**

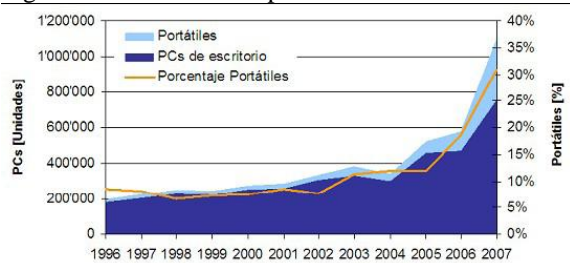
Estudiante de Ingeniería de  
Sistemas y Computación  
Facultad de Ingenierías  
Universidad Tecnológica de  
Pereira  
german\_olano@utp.edu.co

clúster, un sistema SSI y las alternativas de software existentes para un proyecto de esta naturaleza. En la cuarta sección se detallan los resultados obtenidos a partir del diseño del clúster y algunas de las pruebas realizadas sobre prototipos mínimos y en la última sección se entregan las conclusiones y recomendaciones y propuestas para trabajos futuros.

## 2. DESCRIPCIÓN

Durante los últimos años la venta de computadores en el país se ha disparado de forma significativa, pasando de las casi 200.000 unidades registradas en 1996 a los casi 2'000.000 en 2007, cifra que siguió incrementándose para el año 2008 y 2009[1], los cuales según las tasas de crecimiento pudieron aumentar en 5% cada año según la siguiente gráfica:

Figura 1. Ventas de Computadores



Fuente: <http://raee.org.co/ventas>

La situación anterior provoca dos problemas importantes:

1. Generación de desechos tecnológicos, puesto que la adquisición de nuevos equipos supone la salida de los que venían siendo usados, generando toneladas de desechos tecnológicos que a su vez conllevan a pérdidas económicas para la empresa y deterioro del medio ambiente. Se estima que para el 2013 la cantidad de desechos tecnológicos en el mundo estará alrededor de las 19000 toneladas [2].
2. La aparición de nuevo hardware también ha permitido que el software evolucione, los cuales se han vuelto más complejos y robustos, requiriendo de cada vez mayor capacidad en los ordenadores.

Considerando lo anterior, un sistema clúster podría aliviar parte de ambos problemas ofreciendo además otras ventajas a diferentes niveles en las organizaciones.

## 3. SISTEMAS CLÚSTER

Para hablar de clúster se debe partir del concepto de sistemas distribuidos, los cuales hacen parte de la supercomputación, y los consisten en un conjunto de ordenadores (nodos) comunicados y con un software especial que les permite concentrarse en uno o más aplicativos de considerable complejidad, alto consumo de recursos o necesidades muy específicas, como si fueran una sola máquina.

Para que un sistema sea considerado como distribuido debe tener las siguientes características:

- Compartir Recursos.
- Ser abierto y fácilmente extensible.
- Debe ser concurrente, es decir poder trabajar de forma paralela.
- Debe ser escalable.
- Debe ser tolerante a fallos.
- La complejidad del sistema debe ser transparente para el usuario final.

Un clúster se puede definir, según lo expresado por Milone, Azar y Rufiner en su laboratorio de cibernética "Desarrollo de una supercomputadora basada en un clúster de PC's" [3], como la agrupación de ordenadores (generalmente computadoras personales) conectadas mediante una red y trabajando en un problema de tamaño considerable que ha sido dividido para ser procesado de forma paralela (También pueden ser usados para aplicaciones cotidianas pero que consumen altos recursos de máquina, un enfoque que hace que varias máquinas se vean como una sola, no solo para el usuario sino también para los programas).

Una definición más simple de un clúster es la que entrega Catalán [4] al definirlo como "Un conjunto de máquinas unidas por una red de comunicación trabajando por un servicio en conjunto". Cualquiera sea la definición, un clúster debe tener las siguientes características:

- Debe estar conformado como mínimo por dos nodos.
- Los nodos no pueden estar aislados, deben estar comunicados de alguna forma.
- Para un clúster se necesita de un software de control especializado, el cual además determinará el tipo de clúster que se desarrolla.

De acuerdo a la última condición se determina entonces que existen distintos tipos de clúster, como son:

- Clúster de alto rendimiento (HP High Performance) En este caso el conjunto de máquinas trabajan como un solo ordenador para

obtener mayor rendimiento y ejecutar tareas de gran tamaño. Lo que se busca es utilizar al máximo el tiempo de proceso disponible, sin embargo, para que cualquier aplicación que requiera este nivel de recursos pueda ser implementada exitosamente es necesario que el algoritmo sea paralelizable.

- Clúster de alta disponibilidad (HA High Availability) También llamado tolerante a fallos, busca que muchas maquinas hagan el trabajo de una sola (o algunas), trabajando para cosas distintas (servidores web, servidores de correo, de archivos, etcétera) y cuyo objetivo principal es evitar problemas de caídas de los servicios que se ejecutan, de tal forma que si existe el fallo de un recurso no pase nada en el recurso.
- Clúster de alta confiabilidad (HR High Reliability) Este último tipo de clúster busca aportar un nivel determinado de confiabilidad al sistema, de tal modo que este último se comporte de una manera determinada, como un sistema en tiempo real, por ejemplo. Son difíciles de implementar, usados en entornos de tipo empresarial, y relacionados con hardware especializado, ya que a diferencias de los clúster de alta disponibilidad, no basta con que el sistema no caiga, sino que además el punto de restauración deber ser lo suficientemente completo como para que el estado de las aplicaciones se mantengan igual que al momento de la baja del servicio.

Para desarrollar un sistema clúster se debe involucrar diverso software, desde el sistema operativo y el middleware. Este último es el encargado propiamente de implementar un clúster, de conectar los nodos y ponerlos a trabajar en conjunto, es la capa intermedia entre el sistema operativo y las aplicaciones y el usuario. Entre las funciones que posee están las siguientes:

- Proveer una única interfaz de acceso al sistema, conocida como SSI o "Single System Image".
- Optimizar el sistema.
- Proveer herramientas de mantenimiento de procesos pesados.
- Detección de nuevas máquinas y su respectiva inclusión en el clúster (escalabilidad).

En un clúster el middleware se puede tratar de dos formas, a nivel del sistema operativo, o de la aplicación, en el primer caso se actúa con el kernel, lo cual hace todo el proceso transparente para las aplicaciones en el sistema, en el segundo caso se trata de librerías que deben ser implementadas en cada programa que se va a ejecutar en el clúster.

Existen varias opciones al momento de seleccionar el middleware, cada una adecuada al tipo de clúster que se desea desarrollar, entre las cuales se destacan:

- MPI
- PVM
- Beowulf
- Oscar
- NPACI Rocks
- Mosix
- OpenMosix
- Condor
- OpenSSI
- Kerrighed

Es importante señalar que no todos cumplen los mismos objetivos, sino que están contruidos con fines algo diferentes. Es así como algunos necesitan que los aplicativos que van a ejecutar tengo el código debidamente paralelizados (MPI, PVM, Beowulf) mientras otros pueden trabajar con software "normal", o sea no paralelizados (openSSI, kerrighed).

Para los fines de este documento se necesita de la segunda alternativa (ejecutar aplicaciones sin paralelizar), lo cual ubica el clúster en el rango de los sistemas tipo SSI, pero ¿que es SSI?

SSI son las siglas para Single System Image o Imagen Única del Sistema, siendo un modelo de clúster que busca que varios computadores o nodos aparezcan como una sola máquina ante el usuario y las aplicaciones, de tal forma que resulte transparente su funcionamiento y el montaje de los nodos, además del acceso a los recursos disponibles, independiente del grado de heterogeneidad que pueda presentar el conjunto, tanto a nivel de hardware como de software.

Algunos ejemplos de sistemas SSI son:

- Amoeba
- Bproc
- DragonFly BSD
- Genesis
- **Kerrighed**
- Mosix/OpenMosix
- Nomad
- OpenSSI
- Plurix
- Sprite
- TruCluster

Un sistema SSI debe cumplir además con los siguientes pilares:

- **Transparencia:** Tanto para el usuario como para la aplicación debe ser transparente lo que esta detrás del sistema que se presenta, es decir, no importa la cantidad de nodos, ni la ubicación de los recursos. Más aún, trasladar un proceso de un nodo a otro no debe generar ningún “trauma” a los procesos en general, los cuales no necesitan saber exactamente en que nodo se encuentra, simplemente tener el acceso a los recursos que se necesitan.
- **Escalabilidad:** Al tener un sistema que actúa de forma transparente, aumentar la cantidad de nodos tampoco supone un trauma para el conjunto; dicho equipo adicional debe ser fácil de agregar al grupo o clúster, y al existir un modo dinámico de balancear la carga, al PC nuevo se le asignarán los procesos de forma simple.
- **Soporte a aplicaciones de usuario** -Un punto importante, que también influye de forma significativa en el desarrollo del presente proyecto, es el hecho de poder ejecutar aplicaciones de usuario de forma simple en el clúster. Lo anterior significa que cualquier software puede ser llevado al sistema SSI sin necesidad de ser re-programado como puede ocurrir en otros casos en los que se necesita usar librerías específicas (MPI por ejemplo).
- **Des-centralización y Auto-gobierno** Es un concepto importante, y es que aunque físicamente pueda existir un nodo que se considere como maestro, la verdad es que el sistema debe ser des-centralizado, es decir que ninguno es específicamente el maestro, cualquier puede tomar ese papel, razón por la cual uno otro pilar relacionado es el auto-gobierno, determinando esa capacidad para cada nodo de asumir un comportamiento tanto de recepción como de envío de procesos, según lo vaya necesitando el clúster.
- **Imagen Única** Es el principal pilar de un sistema SSI, el conjunto de nodos se debe ver como una sola máquina para el usuario y las aplicaciones.

A partir de la revisión de las diferentes alternativas y teniendo claro la necesidad de un sistema tipo SSI para el diseño del clúster propuesto en este documento, se determinó que el software Kerrighed es la mejor opción que se encuentra disponible debido a factores como:

- Es un sistema tipo SSI.
- Es gratuito, de código abierto.
- Esta actualmente soportado, a diferencia de otros sistemas como openMosix.
- Ha mostrado un importante crecimiento.

Kerrighed es un proyecto nacido en el año el año 1999 en el Grupo de Investigación Instituto Nacional Francés para la Investigación en Ciencias de la Computación y Control, en París. Este proyecto, junto a LinuxPMI, se ha convertido en la respuesta a las necesidades que se crearon después del cierre de openMosix y el congelamiento del proyecto openSSI. Sin embargo, Kerrighed se ha mantenido más activo que LinuxPMI, lo cual lo convierte en la solución SSI más conveniente para la implementación de clústeres en la actualidad.

El proyecto Kerrighed es un sistema de tipo SSI (Single System Image) que ofrece la visión que un clúster es una única máquina para el usuario y las aplicaciones. Este sistema ha sido construido de tal forma que sea implementado como una extensión del sistema operativo Gnu/Linux (una extensión o parche del kernel y una colección de módulos).

Un clúster con el sistema Kerrighed puede ser aprovechado para aplicaciones de tipo científicas o para aplicaciones tradicionales sin necesidad de ser modificadas.

Las siguientes son otras características de este sistema:

- Posee la capacidad de realizar migración de procesos, balanceo de carga dinámica, además sin restricciones en la programación global (Scheduling), la cual puede ser modificada en caliente.
- Tiene un sistema de migración de alto rendimiento de procesos que hagan uso de sockets, tuberías, etcétera.
- Punto de control de procesos y raíz única (características compartidas con sistemas como MOSIX y openMosix)
- Espacio único de proceso y de IPC (Constituye una de las diferencias con un sistema MOSIX y openMosix, que no contaban con estas características)
- Kerrighed implementa un sistema de archivos distribuido en el cual se puede configurar la redundancia de datos e implementa un único árbol de directorios o ficheros.
- La principal desventaja de Kerrighed frente a sistemas como Mosix es que no cuenta con herramientas de usuario gráficas, lo cual puede hacer más complicada su administración.
- Un punto muy importante de Kerrighed en oposición a MOSIX, es que se distribuye bajo licencia GPL.

- Trabaja con kernel versión 2.6, posicionándose básicamente como el único sistema SSI libre con esta capacidad.
- Brinda soporte para maquinas SMP/Multi-cores, ordenadores x86 y x86-64 (32 y 64 bits).

#### 4. RESULTADOS OBTENIDOS

A partir del trabajo desarrollado se obtuvieron los siguientes resultados:

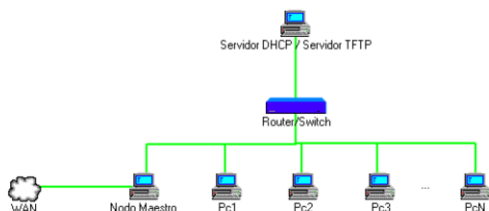
##### 4.1. DISEÑO DE UN CLÚSTER CON EQUIPOS DADOS NO ACTIVOS

Tabla 1. Diseño del Sistema Clúster

Item	Decisión	Observaciones
Red	Red topología estrella sin redundancia	Es el diseño de red más simple pero que a la vez puede ser mejorado. Es suficiente para un sistema clúster básico.
Cantidad de nodos	Dependiente de las prestaciones buscadas	A mayor número de nodos mejores prestaciones (teóricamente)
Instalación en nodos	Nodo maestro con servidor TFTP y DHCP	Es la recomendación de kerrighed pues permite una instalación más simple y el consumo de menos recursos en cuanto a almacenamiento secundario. También se recomienda que los servidores TFTP y DHCP estén en un equipo por fuera del clúster (especialmente el último servidor).
Kerrighed	La versión más actual posible	Ninguna
Sistema operativo	Debian Gnu/Linux	Puede usarse otra distribución según las preferencias de quien implementa el clúster o de
		la organización en la cual se desarrolla el proyecto.
Configuración de hardware y software	Configuración normal de equipos. Uso de kernel 2.6.20 según las exigencias de kerrighed y las versiones más actuales para el servidor DHCP y FTP	Depende de las necesidades en la implementación del clúster.

Fuente: Propia

Figura 2. Diseño físico del clúster



Fuente: Propia.

##### 4.2. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO

Es importante señalar que la selección de Gnu/Linux Debian se debe principalmente a razones prácticas como la experiencia en la instalación y uso de dicho sistema operativo, sin embargo la instalación de kerrighed puede ser realizada sobre prácticamente cualquier distribución, debido principalmente a que el paquete con el que se construye el clúster se compila y no se instala como un binario.

La instalación del sistema operativo puede resultar tan simple como la experiencia del usuario lo permita, además depende también de la distribución, sin embargo el hecho de trabajar con equipos dados de baja con distribuciones recientemente descargadas puede generar problemas de rendimiento que llevan a un funcionamiento lento del ordenador, por lo cual se debe pensar en dos alternativas:

- Instalar un sistema base, sin aplicativos ni entornos de escritorio innecesarios.
- Compilar un kernel antiguo para el sistema operativo (La versión 2.6.20 es la ideal toda vez que kerrighed lo exige para su funcionamiento).

La compilación del kernel no resulta trivial, exige conocimiento tanto del núcleo como del hardware sobre el cual se pretende hacer funcionar. El tiempo y los recursos también son factores críticos, dado que la compilación del núcleo Linux exige al máximo la máquina sobre la que se ejecuta esta operación. Por otro lado, un ordenador con 256 MB de memoria RAM y un procesador de 945 MHz se tarda entre 3 y 4 horas para llevar a cabo la compilación del kernel.

##### 4.3. INSTALACIÓN DEL MIDDLEWARE (KERRIGHED)

Aunque a simple vista, si se toma como base la documentación por el proyecto kerrighed, la instalación del paquete pueda parecer simple, la realidad muestra que puede resultar algo más compleja. En la instalación se identificó lo siguiente:

- Tiempo de instalación: el tiempo que se tarda en compilar el paquete kerrighed depende, al igual que el kernel, del procesador y la memoria del ordenador. Para un computador con 256 MB y procesador de 945 MHz el proceso de compilación tarda entre 1 hora y 1 hora y 30 minutos. El proceso de instalación entre 30 y 60 minutos adicionales.

Finalmente la configuración o instalación del kernel generado por el paquete kerrighed puede consumir aproximadamente 20 minutos

adicionales. Todo lo anterior eliminando factores como errores de configuración, de compilación, entre otros, que podrían provocar tiempos mayores.

- El kernel: La selección del núcleo es algo que no esta en manos del usuario, puesto que la última versión del paquete kerrighed exige descargar, compilar e instalar el núcleo 2.6.20. Esta situación provoca lo siguiente:

- Es indispensable tener conocimientos sobre la compilación del kernel, dado que aunque la configuración de kerrighed genera un núcleo básico, el resultado obtenido puede no ser suficiente y puede que algunos dispositivos del ordenador no funcionen total o parcialmente (esto es especialmente importante para la tarjeta de red).

- Aun cuando el núcleo 2.6.20 puede ser considerado como un kernel “antiguo”, en algunos equipos dados de baja puede ser aún considerado como “pesado” para su funcionamiento. En contraste, con equipos más nuevos podría no tener soporte para algunos componentes.

- Modo de implementación: Kerrighed recomienda su instalación en un único nodo que actuara como maestro y del cual el resto de nodos tomaran toda la información necesaria arrancando por medio de la tarjeta de red. Este es el enfoque utilizado al hacer uso del live CD ofrecido por el proyecto Kerrighed para realizar las pruebas.

El hecho de realizar la instalación por este medio genera, además de un mayor tiempo en la implementación, un nivel de complejidad más alto, toda vez que es necesaria la instalación de servidores tftp y dhcp que permitan a los otros nodos conectarse al principal y obtener la información que necesitan.

Por otro lado este tipo de implementación ha presentado un problema adicional: la capacidad de las tarjetas de red en equipos usados para arrancar por red de datos. Las pruebas realizadas en este proyecto han permitido detectar que son muy pocos los equipos dados de baja los que cuentan con tarjetas de red con capacidad para arrancar por red, lo cual no les permite interactuar con el clúster.

Teniendo en cuenta lo anterior, el tipo de implementación recomendado por el proyecto kerrighed (y aplicado en el proyecto para el prototipo) presenta las siguientes dificultades:

- El clúster, al arrancar sus nodos por red, puede estar desaprovechando la capacidad de los discos duros. Estos deberán ser instalados en nodos específicos que permitan su uso en el clúster, teniendo en cuenta eso si, las limitaciones que equipos dados de baja puedan tener.
- Es necesario realizar una inversión adicional en los equipos con el fin de adquirir tarjetas de red capaces de iniciar el ordenador por medio de la red de datos. Esto sin tener en cuenta además que es posible que también se deriven problemas si la BIOS de la tarjeta madre no admite este tipo de arranque.

En contraste, la implementación por red presenta como ventajas las siguientes:

- No se necesita instalar todo el sistema (tanto el operativo, como el paquete kerrighed) en cada nodo, lo cual lleva a un ahorro significativo en tiempo, además de disminuir considerablemente la complejidad de la implementación derivada de la necesidad de compilar el núcleo cada vez que se instala el paquete kerrighed. Una disminución de tiempo puede implicar una disminución de costos para la implementación.
- El tener un nodo maestro al cual se conectan los otros nodos por medio de la red implica que la pérdida de uno de los miembros del clúster no generará mayor traumatismo si se tiene en cuenta que basta con retirar el ordenador defectuoso del conjunto e ingresar uno que arranque por red para poder disponer de su poder de procesamiento.

#### 4.4. ADMINISTRACIÓN DE KERRIGHED

La administración de un clúster implementado mediante el paquete kerrighed ha sido quizás uno de los puntos más complicados al momento de generar un proyecto de esta naturaleza. La dificultad deriva del hecho que para kerrighed no existe ninguna herramienta gráfica que permita interactuar con el sistema, obligando al uso de la consola para poder efectuar tareas de monitorización y administración del clúster, lo cual incrementa la complejidad para implementar este sistema en las empresas de la región.

La apreciación anterior se apoya en el hecho, que tal como se observó en el estudio de las empresas que se tuvieron como “casos prácticos” para el presente proyecto, el 100% afirmaron tener sus sistemas bajo sistemas operativos Microsoft Windows, el cual tiene un modelo de administración de los sistemas muy contrario a lo que sucede con kerrighed: en general todo se hace por medio de interfaces gráficas, es

decir, botones y ventanas. Por otro lado, de las entidades estudiadas, dos no cuentan con un departamento de sistemas que administre sus infraestructura tecnológica, son organizaciones que se podrían catalogar como medianas y pequeñas empresas, y tampoco cuentan con personal dedicado a labores informáticas.

Con base en lo anterior se puede concluir que:

- Teniendo en cuenta la complejidad en la administración del sistema kerrighed y de los sistemas operativos libres debido a de la falta de conocimiento aún existente en cuanto a S.O. como Gnu/Linux y BSD, la curva de aprendizaje para que la organización pueda adaptarse e implementar un sistema clúster como el que se propone en este proyecto puede resultar bastante lenta.

Lo anterior puede constituir un elemento bastante fuerte en contra del proyecto, debido a que generalmente, ante todo cambio siempre existirá un cierto nivel de resistencia, más aún cuando se tiene que intervenir en un enfoque y una educación tecnológica sesgada y arraigada desde hace muchos años atrás.

- La implementación de un clúster con kerrighed, con las características, ventajas y desventajas mencionadas anteriormente, llevará a contar con una persona con las capacidades técnicas y conceptuales suficientes para su implementación. Esto en una empresa que cuenta con un departamento de sistemas bien organizado puede no suponer un problema mayor, sin embargo en el caso contrario llevaría a la contratación de personal adicional encargado de la instalación, configuración y administración del clúster.

La anterior es una inversión, que en grandes e incluso, medianas empresas, puede ser factible, fácilmente aceptada. Incluso, si ya existe uno o varios empleados encargados de la infraestructura tecnológica de la empresa, pero que no cuentan con los conocimientos necesarios para llevar a cabo la implementación del clúster con kerrighed, la misma organización podría gestionar su capacitación para adaptarse a las nuevas circunstancias. Sin embargo para empresas más pequeñas esto no resultará realmente viable, puesto que los costos podrían superar los beneficios (Es importante en este punto tener en cuenta la gran cantidad de pequeñas y medianas empresas que existen en la región, toda vez que un gran porcentaje de las grandes empresas tienen sus sedes principales en ciudades como Calí, Bogotá y Medellín).

## 4.5. RENDIMIENTO

En un clúster los parámetros de rendimiento dependen de la cantidad de nodos lo conforman y sus características, además del tipo de clúster y las tareas para las que ha sido destinado. En un clúster de alta disponibilidad el rendimiento no es un factor importante, al contrario de un clúster de alto rendimiento.

El caso del proyecto kerrighed responde a un clúster de alto rendimiento, en el cual el conjunto de máquinas aparece como un solo ordenador para las aplicaciones que se instalan y ejecutan en el sistema. En este caso se combinan las capacidades de cada elemento (nodo) obedeciendo a unas políticas de migración establecidas por el sistema (generalmente se busca el nodo disponible que pueda aceptar el proceso).

Lo anterior implica una seria dificultad para el cálculo de la capacidad de procesamiento de un clúster, toda vez que este factor siempre va a depender de elementos como:

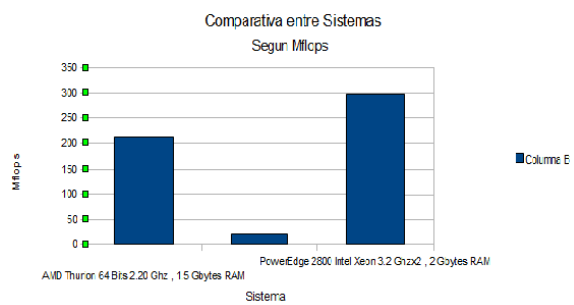
- Capacidad de cada nodo: En el clúster propuesto mediante kerrighed (heterogéneo) cada nodo presenta características diferentes que brindaran capacidades distintas, además de verse afectados por diferentes condiciones. Estas condiciones, dado que los nodos son equipos dados de baja, van desde el tiempo de uso hasta los posibles daños ocasionados durante su vida activa por motivo de variaciones de voltaje, cambios en el hardware, golpes, etcétera.
- Capacidad de la red: Un elemento importante para un clúster es la red de datos que conecta cada elemento en el grupo.
- Software: El uso de la capacidad de un clúster depende en gran medida de las aplicaciones que se ejecuten sobre el mismo. A mayor posibilidad de dividir la aplicación en partes que puedan ser ejecutadas por diferentes procesadores, mayor será el rendimiento del programa en el clúster. Sin embargo, para un programa escrito totalmente secuencial la posibilidad de ejecutarlo de forma paralelo baja considerablemente, desaprovechando recursos.

Para medir la capacidad del clúster se han tomado dos enfoques, uno lineal y otro mediante benchmarking. Lo que se ha hecho es tomar el rendimiento de cada nodo por separado mediante benchmarking y luego realizar la suma lineal de las capacidades de cada nodo para obtener el total aproximado de rendimiento para el clúster.



La figura siguiente muestra la comparación entre diversos sistemas mediante benchmarking:

Figura 3. Comparación de rendimiento de sistemas.



Fuente: Propia

El primer computador evaluado hace referencia a un computador de tecnología reciente (mas de 1 GB de RAM, procesador de 2.2 Ghz a 64 Bits), el segundo a un equipo con características similares a los que no están activos en las empresas y el tercero a un servidor de gama baja-media (Dell Power Edge 2800).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede considerar que un clúster que deba igualar la capacidad de un servidor de gama baja-media debe estar conformado por aproximadamente 20 a 25 nodos, dependiendo de las características de cada nodo.

#### 4.6. COSTOS GENERADOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CLÚSTER

En este apartado se tienen en cuenta diversos ítems como el valor de la adquisición de equipos (y repuestos en algunos casos) , adecuación del espacio físico; instalación, configuración y administración del sistema (incluyendo costo de contratación de personal para llevar a cabo estas tareas) y consumo de energía. Lo anterior comparado contra un sistema Dell Power Edge 2800, que sirve como punto de comparación.

Finalmente se obtiene que un clúster con las características propuestas generara mayores gastos que la adquisición de un servidor de gama baja-media, según la tabla que se muestra a continuación:

Concepto	Servidor	Clister
Adquisición	3045000	1030000
Instalación (Costo)	1500000	1500000
Administración (Costo Anual en Pesos)	23481900	43832880
Consumo de Energía (Costo Anual en Pesos)	148899	1333066
<b>Total</b>	<b>28175799</b>	<b>47695946</b>
Espacio físico (m²)	0.0468	0.47385

Tabla 2. Resumen de comparación entre clúster y servidor.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las experiencias recogidas durante el desarrollo del proyecto, se formulan las siguientes recomendaciones en cuanto a la implementación de un clúster mediante kerrighed (o cualquier otro sistema) y para trabajos posteriores:

- La implementación de un sistema como kerrighed o cualquier otro que surja de diferentes proyectos debe guiarse por la facilidad para su instalación y administración, además de la vigencia actual del mismo. El hecho de contar con aplicativos para clúster actualizados, o que usen los núcleos de Linux más recientes permite, entre otras cosas, contar con la capacidad de reconocimiento de más hardware de los ordenadores que se utilizan como nodos.
- El conocimiento necesario del sistema operativo Gnu/Linux para la implementación de un clúster no debe ser básico, toda vez que se necesita realizar operaciones diversas y complejas, especialmente aquellas relacionadas con el núcleo del sistema operativo. En kerrighed es especialmente importante para la administración debido a la falta de herramientas gráficas que permitan realizar estas tareas.
- La instalación recomendada por kerrighed indica que se debe tener un nodo maestro con el sistema operativo y el paquete para el clúster, además de una máquina que actúe como servidor DHCP y TFTP desde el cual los nodos puedan arrancar por red y obtener los archivos necesarios para hacer parte del clúster. Aunque configuraciones distintas pueden funcionar, la complejidad aumenta.
- Proyectos posteriores sobre clúster de computadores deben encontrar una forma fiable de medir las capacidades de procesamiento de acuerdo a los fines con que se implemente el sistema, esto quiere decir que deben ser proyectos encaminados a solucionar problemas puntuales que permitan conocer el entorno en el cual el clúster trabajará, las cargas de trabajo esperadas, etcétera.
- Los altos costos que se generan de la implementación de un clúster que iguales las capacidades de un servidor pequeño indican que se debe pensar en un sistema de prestaciones más modestas pero que igualmente pueda brindar un servicio a la empresa, teniendo en cuenta el poder asumir unos costos que puedan ser sostenidos por la organización.

La información recopilada en el proyecto y los resultados obtenidos de las pruebas realizadas



permiten determinar que el diseño de un clúster con ordenadores que ya no son están activos en una empresa es totalmente posible, y además el paquete kerrighed se muestra como una de las mejores opciones actuales dado que es el único aplicativo soportado y actualizado a la fecha.

Sin embargo, es importante señalar que las prestaciones otorgadas por un clúster de la naturaleza que se propone son bajas en relación a servidores de gama media y baja, como los que se pueden encontrar en la mayoría de empresas de la región; además, intentar igualar las capacidades de este último tipo de ordenadores puede generar costos altos que no compensan reemplazar una máquina adecuada para la prestación de servicios por un sistema compuesto por múltiples computadores de características bajas. Lo anterior puede llevar a dos conceptos diferentes:

- La mejor opción es la adquisición de un servidor de fábrica con las características necesarias para los procesos que se corren en una empresa.
- Implementar un clúster con equipos actuales que entreguen mejores prestaciones y permitan crear un sistema equivalente con menos nodos.

En los casos analizados se identifica que los mayores costos en el diseño de un clúster se generan por dos conceptos:

- Consumo de energía
- Administración del sistema (y posiblemente la instalación que juega un papel importante).

El primer problema se podría solucionar, tal y como se dijo, con el uso de equipos recientes (con características más actuales o modernas) que disminuyan la cantidad de nodos necesarios, tomando un camino o enfoque diferente al del propuesto en el proyecto.

El segundo problema sin embargo resulta más complicado, dado que tanto la instalación como la administración no resultan triviales, y tal como se ha indicado previamente, exigen conocimientos adecuados de los diferentes sistemas que se involucran en la implementación de un clúster (servidores de archivos, de direcciones, kerrighed, etcétera). Lo anterior implica la contratación de una persona con los conocimientos adecuados o la capacitación del personal actual; en cualquiera de los casos se tiene un incremento en los costos. En el aspecto ambiental la propuesta de un clúster con equipos dados de baja realiza un aporte bastante importante, toda vez que una gran parte de las empresas de la región no tiene políticas claras y definidas en relación con los desechos tecnológicos,

los cuales generan una contaminación considerable. El hecho de usar los equipos y componentes dados de baja en la empresa representa una disminución en los desechos y un ahorro para la organización en el manejo de los mismos.

Finalmente cabe anotar que de las investigaciones realizadas se ha podido determinar que actualmente los sistemas clúster han venido perdiendo vigencia toda vez que soluciones como la virtualización (LVM) han tomado más fuerza y han mostrado ser soluciones más adecuadas.

En resumen, las conclusiones para el proyecto se pueden describir en los siguientes puntos:

- La implementación de un clúster con equipos dados de baja es perfectamente posible desde el punto de vista técnico, pero no resulta viable desde el enfoque económico y de prestaciones para una empresa si se intenta igualar con las prestaciones de un servidor de gama baja y media. Sin embargo, un clúster de menos prestaciones sigue siendo una buena alternativa para una organización que quiere volver a usar y recuperar sus equipos dados de baja enfocándolo a trabajar con procesos que no consuman excesivos recursos.
- La implementación de un clúster genera un aporte importante para el aspecto ambiental y social, excepto en el aspecto del consumo de energía.
- La implementación de un clúster no es un proceso trivial, lo mismo sucede con la administración (especialmente para el proyecto kerrighed), lo cual implica personal con conocimiento adecuado del aplicativo para el clúster, el sistema operativo, entre otros.
- La relación potencia-costo en comparación con los servidores más usados en las empresas deja en clara desventaja al sistema clúster con computadores que no están activos en una empresa.
- Una propuesta de un proyecto clúster con equipos dados de baja puede ser llevado a las empresas con necesidades específicas en los cuales el poder de procesamiento no sea demasiado alto y el elemento más importante sea el uso de las máquinas.
- Kerrighed se muestra como una opción válida y viable para el diseño de un clúster tipo SSI, para un grupo heterogéneo u homogéneo de computadores, con un soporte que aunque muy limitado aún, puede crecer y mejorar con el

tiempo, a medida que el proyecto vaya evolucionando.

de Grado Universidad Tecnológica de Pereira. 2010.  
190 pág.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. Ventas de Computadores en Colombia. <http://raee.org.co/ventas>

[2] RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. Residuos de computadores, monitores y componentes.  
<http://raee.org.co/residuos-pc>

[3] MILONE Diego H, AZAR Adrián A, RUFINER Leonardo. Desarrollo de una supercomputadora basada en clúster de PC's. 2001.,pág. 7.

[4] CATALÁN,MIQUEL, citado por CÁCERES VILCHES, Juan Esteban. MEDINA AMADOR, Cristian Alejandro. Implementación de un servidor web apache sobre un clúster Linux. Seminario de Titulo Universidad Católica del Maule. 2007. pág. 14.

CLUSTERS. Definiciones. Administración y Planificación de tareas.Herramientas para la administración de clústers.[En línea] [Fecha de Consulta : 30 de Noviembre de 2009]  
<http://clusterfie.epn.edu.ec/clusters/Definiciones/definiciones4.html>

COLABORADORES DE WIKIPEDIA. Single System Image. [En línea]. Wikipedia, La enciclopedia Libre. 2009 [Fecha de Consulta: 30 de Noviembre de 2009] Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Single\\_System\\_Image](http://es.wikipedia.org/wiki/Single_System_Image)

CORTES, Toni; HAI, Jin y RAJKUMAR, Buyya. Single System Image (SSI). [En línea] En Computing Applications, The Gridbus Project. [Fecha de consulta: 30 de Noviembre de 2009]  
<http://www.gridbus.org/papers/SSI-CWhitePaper.pdf>

HOSTING SOLINGEST. Clúster de servidores ¿Que es y cómo funciona? [En línea] Hosting Solingest [Fecha de consulta: 30 de Noviembre de 2009]  
<http://hosting.solingest.com/cluster-de-servidores.html>

INGENIEMOS. Primer clúster de computación en la Facultad de Ingeniería. En Revista Ingeniemos 2007.[Fecha de Consulta: 30 de Noviembre de 2009]  
<http://ingenieria.udea.edu.co/portal/ingeniemos/versionimpresa/200706/pag6.pdf>

OLANO TREJOS, Germán Andrés. Diseño de un clúster con computadoras dadas de baja, como alternativa de bajo costo frente a ordenadores de alto rendimiento, para empresas del eje cafetero. Proyecto