

# DISEÑO DE CLÚSTER EN SISTEMA LINUX PARA HPC (HIGH PERFORMANCE COMPUTING)

García Páramo Ana Gabriela (1), Elizalde Blancas Francisco (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad de Guanajuato] | [ag.garciaparamo@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato - Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [franciscoeb@ugto.mx]

## Resumen

La siguiente investigación propone una estrategia de cómputo, el clúster. Esta configuración computacional realiza procesamiento en paralelo enfocado a la simulación numérica permitiendo utilizar cualquier método de discretización. El trabajo que se realiza es la creación de un clúster con computadoras convencionales para obtener la solución de problemas que demandan una mayor cantidad de recursos computacionales, para ello debe existir una comunicación entre todos los elementos llamados nodos, que participarán en el proceso y así distribuir el requerimiento de cómputo de manera uniforme entre cada uno de ellos. Los resultados esperados son un menor tiempo de solución del problema debido a que se cuenta con mayores recursos para hacer las simulaciones necesarias. Los datos a procesar forman parte de problemas enfocados al área de Ingeniería Mecánica en donde es fácil observar un desempeño aceptable y un uso adecuado del procesamiento en paralelo.

## Abstract

The following research proposes a computing strategy, the cluster. This computer configuration performs parallel processing focused on numerical simulation allowing the use of any discretization technique. The work done is the configuration of a cluster with conventional computers for the solution of problems that demand more computational resources, for which must there be communication between all the elements called nodes, which will participate in the process and thus distribute the computational load evenly between each of them. The expected results are less time to solve the problem because it has more resources to make the necessary simulations. The data processing is part of problems focused on the area of Mechanical Engineering where it is easy to see acceptable performance and a proper use of parallel processing.

### Palabras Clave

Procesamiento paralelo; homogéneo; eficiencia; simulación

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe la necesidad de tener un mayor rendimiento en los equipos de cómputo. Entre las diversas áreas de la ciencia y la tecnología que requieren de la solución de problemas que demandan una significativa cantidad de poder de procesamiento se encuentran: simulaciones, modelado de sistemas expertos, optimización, análisis, búsquedas, aprendizaje en redes neuronales, procesamiento y reconocimiento de imágenes, consultas en bases de datos, entre otras [1].

El procesamiento en paralelo es una forma de cómputo mediante el cual muchas instrucciones se ejecutan simultáneamente, considerando que los problemas grandes, a menudo se pueden dividir en otros más pequeños. Los programas informáticos paralelos realizan la comunicación y sincronización entre distintas tareas, esto es considerado un obstáculo para obtener un buen rendimiento del programa en paralelo [2].

Las computadoras de procesamiento en paralelo se pueden clasificar de acuerdo al nivel de paralelismo con el cual puede trabajar su hardware: equipos con procesadores que son conformados por dos o más núcleos o aquellos que tienen varios procesadores. La mayoría de las ocasiones, cuando se desea acelerar las tareas que se deben realizar, se utilizan arquitecturas especializadas de cómputo en paralelo junto a procesadores comerciales. La máxima aceleración con la cual puede trabajar un programa como resultado del procesamiento en paralelo se denomina como la ley de Amdahl.

Un clúster es un conjunto de computadoras independientes que trabajan como un solo recurso computacional ya que se distribuyen las tareas entre ellas, las cuales se encuentran interconectadas mediante algún dispositivo de comunicación.

Existen distintas clasificaciones con las cuales podemos elegir un clúster, ya sea dependiendo de los nodos y sus características físicas o del servicio que ofrezca [3].

La clasificación de acuerdo a las características físicas de los equipos son: homogéneo (poseen la misma arquitectura), semi – homogéneo (arquitecturas similares) y heterogéneo

(arquitecturas totalmente distintas). La clasificación de acuerdo al servicio que ofrece es: Clúster de Alto Rendimiento (HPC – High Performance Computing), Clúster de Alta Disponibilidad (HA – High Availability) y Clúster de Alta Eficiencia (HE – High Efficiency).

Los clúster permiten aumentar la escalabilidad, disponibilidad y fiabilidad en varios niveles de red. A continuación se definen los términos mencionados:

- Escalabilidad: es la capacidad de un equipo de procesar mayores cantidades de trabajo sin dejar de proporcionar un rendimiento aceptable.
- Disponibilidad: capacidad de estar listo en cualquier momento en el que se requiere su uso.
- Fiabilidad: es la capacidad de un buen funcionamiento.

El trabajo que se desarrolla tiene como objetivo ser usado en la solución de problemas de transporte mediante simulaciones computacionales que requieren largos periodos de tiempo y un procesamiento de grandes cantidades de cálculos matemáticos. Por lo anterior, se decide implementar la configuración de un clúster de alto rendimiento (HPC) ya que se requiere resolver problemas que utilizan el método de volumen finito (FVM). Además, se espera que el diseño combine los siguientes servicios: alto rendimiento, disponibilidad, balanceo de carga y escalabilidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Al llevar a cabo el proyecto y de acuerdo al equipo con el que se cuenta, el clúster es del tipo homogéneo ya que todas las computadoras con las que se trabaja poseen las mismas características de hardware y software. A continuación, se proporcionan las características de hardware que corresponden a las computadoras a utilizar así como el equipo y material necesario para crear nuestra red:

- 2 procesadores Intel Xeon de 2.80 GHz
- Memoria RAM de 4 GB
- Disco Duro de 240 GB

- Switch de 8 puertos
- Cable UTP y conectores RJ-45

El sistema operativo instalado en las computadoras fue Linux en la versión Ubuntu LTS 14.04, el cual fue elegido porque además de ser un software libre y tener la facilidad de permitirnos usar todos sus recursos computacionalmente hablando, es fácil de manejar y entender para sus usuarios finales. Además, cabe mencionar que proporciona cierto grado de seguridad avanzada.

Ansys es un software que se utiliza para el diseño, análisis y simulación. El programa realiza el análisis de sistemas sometidos a distintos fenómenos físicos como lo son el flujo de fluidos, transferencia de calor, esfuerzos, deformaciones y algunas otras aplicaciones específicas. Para el objetivo de nuestro proyecto usamos Fluent que forma parte de los programas proporcionados por Ansys, el cual es un software de CFD (Computational Fluids Dynamics) que se utiliza para una amplia variedad de aplicaciones de modelado y simulación como turbulencia, reacciones químicas, efectos térmicos, entre otros.

Al tener nuestros equipos configurados con el sistema operativo y el software antes mencionado, procedemos a realizar nuestra red de área local (LAN), con ella se proporciona la comunicación entre los equipos y se puede realizar el procesamiento en paralelo. Esta red es creada utilizando un switch y conectando a él todos los equipos mediante el uso de cables Ethernet para una mejor transmisión de datos.

Fluent nos proporciona la facilidad de realizar el procesamiento en paralelo por medio de su interfase gráfica, el usuario final decide la cantidad de nodos que pertenecen al proceso, permite elegir si el nodo maestro participa en la solución del problema o sólo nos proporciona los resultados finales. Los nodos esclavos son aquellos que realizan los cálculos para la obtención del resultado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan, analizan y comentan los resultados de distintas pruebas realizadas en el clúster. Las pruebas presentadas son con base a dos problemas que se eligieron por la cantidad de

ecuaciones diferenciales parciales que deben resolverse y los elementos que conforman sus mallas.

La Figura 1 corresponde al tiempo de cómputo requerido en el primer problema de simulación, el cual consta de una malla de 1,024,000 elementos y resuelve nueve ecuaciones diferenciales parciales que están acopladas. Inicialmente se resuelve el problema con un criterio de convergencia de  $1 \times 10^{-3}$  y uno final de  $1 \times 10^{-6}$ , los dos tiempos se suman para crear un tiempo total de convergencia. Para realizar las simulaciones se hicieron varias configuraciones de nodos en el clúster, se resolvió de manera normal o cotidiana y utilizando todos los recursos computacionalmente hablando que pudiesen ser destinados al proceso de simulación. En primera instancia se simuló utilizando una computadora de las dos maneras antes descritas, para tener una referencia en tiempo de simulación y así medir la eficiencia de la configuración, además de encontrar la más adecuada.

Como se aprecia en la Figura 1, existe una diferencia en tiempo usando los dos tipos de simulaciones y con ello podemos afirmar que utilizando todos los recursos que puedan ser destinados a dicha simulación tendremos una solución en menor tiempo. Otra observación importante es que la configuración de un clúster con cuatro nodos es la más óptima, ya que en ella se encuentra la solución con el menor tiempo y además, a partir de dicha configuración la escalabilidad comienza en decremento pues en las dos configuraciones posteriores se observa un aumento en el tiempo de solución. En la configuración de seis nodos realizando una simulación de manera normal, el tiempo de solución es mayor al que se obtiene en una sola computadora. El decremento en la escalabilidad es debido a la transferencia de los datos en el procesamiento, tarda un poco más y por ello aumenta el tiempo en solución, por eso el procesamiento en paralelo es ineficiente.

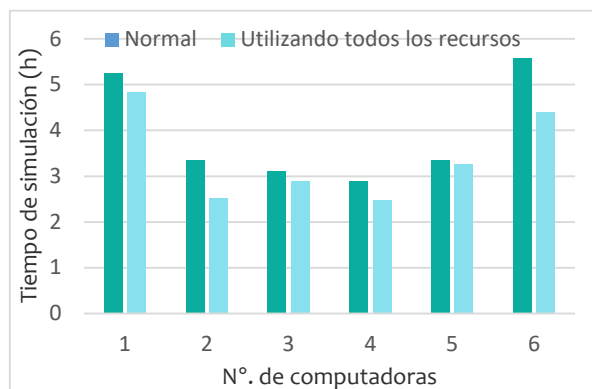


Figura 1: Tiempo de cómputo en función de las configuraciones de clúster dependiendo de la cantidad de nodos o computadoras utilizando las dos formas de simulación en la malla de 1,024,000 elementos.

En la Figura 2 se analiza un problema de una malla con 3,456,000 elementos el cual también resuelve una cantidad de nueve ecuaciones diferenciales parciales. Este caso se resolvió utilizando todos los recursos computacionales ya que en el ejemplo anterior se observó que era el más eficiente y como era de esperarse, se aprecia que, de igual manera, con la configuración de cuatro computadoras se obtuvo el menor tiempo de solución. Como en el caso anterior, en el clúster de seis nodos comienza a incrementar el tiempo en el que puede resolverse el problema.

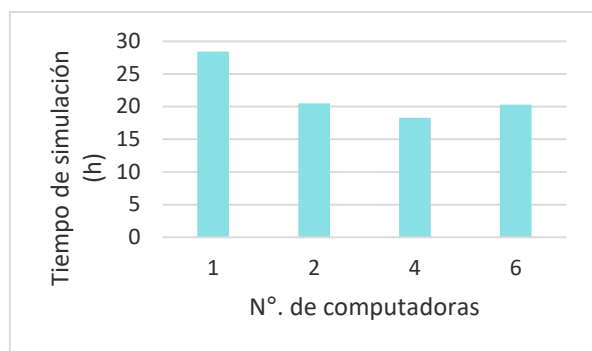


Figura 2: Tiempo de cómputo con las diferentes configuraciones de computadoras en la malla de 3,456,000 elementos haciendo uso de todos los recursos computacionales.

## CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la sección anterior observamos que sí funciona el

procesamiento en paralelo ya que disminuye el tiempo de solución en los problemas mencionados anteriormente. Al implementar el clúster de alto rendimiento conseguimos capacidades de cálculo superiores a las de una computadora convencional. Otro de los objetivos es que sea de gran disponibilidad y así es, ya que varios servicios fueron compartidos entre sí y se monitoreaban constantemente, por ello, se considera que existe un buen balance de carga al compartir el trabajo. En cuanto a su escalabilidad concluimos que no es muy buena ya que al extender el margen de operaciones en todos los equipos se perdió la eficiencia del clúster, pues se demora mayor tiempo en la resolución de los problemas en configuraciones de 5 y 6 computadoras.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera muy especial a mi asesor el Dr. Francisco Elizalde Blancas que, durante la realización de mi proyecto, ha sido un gran apoyo y mi mano derecha por su orientación, dedicación y tiempo. Gracias por su interés, siempre sobrepasa las expectativas que deposito en su persona.

## REFERENCIAS

- [1] Naiouf, R. M., De Giusti, A. E., De Giusti, L. C., Chichizola, F., Pousa, A. & Sanz, V. (2010). Procesamiento distribuido y paralelo. Fundamentos y aplicaciones. XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 611-616. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10915/19592>.
- [2] Cardoso-Nungaray, V. E., Vargas-Félix, M. & Botello-Rionda, S. (2013). Parallel Processing Strategy for Solving the Thermal-Mechanical Coupled Problem Applied to a 4D System using the Finite Element Method. *Computación y Sistemas*, 17(3), 289-298.
- [3] Grama, A., Gupta, A., Karypis, G., & Kumar, V. (2003). *Introduction to Parallel Computing: Design and Analysis of Algorithms* (2da ed.). Inglaterra: Addison Wesley.
- [4] Wilkinson, B., & Allen, M. (2004). *Parallel Programming. Techniques and Applications Using Networked Workstations and Parallel Computers* (2da ed.). EEUU: Prentice Hall.