



**Universidad
Europea de Madrid**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

INTRODUCCIÓN Y MEDIDAS DE RENDIMIENTO

LEY DE AMDAHL

© Todos los derechos de propiedad intelectual de esta obra pertenecen en exclusiva a la Universidad Europea de Madrid, S.L.U. Queda terminantemente prohibida la reproducción, puesta a disposición del público y en general cualquier otra forma de explotación de toda o parte de la misma.

La utilización no autorizada de esta obra, así como los perjuicios ocasionados en los derechos de propiedad intelectual e industrial de la Universidad Europea de Madrid, S.L.U., darán lugar al ejercicio de las acciones que legalmente le correspondan y, en su caso, a las responsabilidades que de dicho ejercicio se deriven.

Índice

Presentación	4
¿Por dónde mejorar?	5
Speed-up	7
Ley de Amdahl	9
Gráficamente	11
Ejemplo	12
Solución	12
Varias mejoras	13
Limitación de la ley de Amdahl	14
Resumen	16

Presentación

Hasta ahora hemos aprendido a medir las prestaciones de un computador en base a características particulares, así como en base al rendimiento global de un sistema. Es muy importante saber aplicar este conocimiento para poder comparar el rendimiento entre distintos computadores, pero también es muy importante saber comparar el rendimiento de dos configuraciones distintas de un mismo computador.

En este tema, nos centraremos en las mejoras que podemos aplicar sobre una misma arquitectura. Será especialmente relevante saber calcular la mejora global de un sistema cuando aplicamos una mejora sobre un componente específico.

En las próximas secciones aprenderemos a calcular las mejoras en el rendimiento global de una computadora, tras aplicar una mejora sobre un componente concreto.

Al final de este tema el estudiante deberá:

- Saber enunciar la Ley de Amdahl.
- Saber calcular la mejora global de un sistema al aplicar una mejora particular.
- Saber calcular la mejora global de un sistema al aplicar varias mejoras parciales.



¿Por dónde mejorar?

El objetivo de un ingeniero es siempre sacar el máximo rendimiento a sus recursos y mejorar las herramientas con las que cuenta.

A la hora de proponer mejoras sobre una arquitectura ya definida, ¿por qué componente empezar?

El arquitecto de computadores contará de partida con un presupuesto y tiempo limitados, y no podrá aplicar mejoras sobre todos los componentes. Si tomamos las decisiones correctas, estaremos maximizando la relación beneficio/coste.

Hay que emplear los esfuerzos en mejorar aquellos componentes o tareas que se utilizan durante más tiempo.

Un error muy común en arquitectos de computadores es pensar que al aplicar una mejora en el rendimiento de un componente, el sistema global mejorará en la misma proporción que ese componente. Sin embargo, la realidad dicta que el sistema global mejorará durante el tiempo que trabaje ese componente, pero el resto del tiempo no se está aplicando ninguna mejora.

Por ejemplo, si reducimos a la mitad el tiempo de operación de la unidad aritmético-lógica de un computador (mejoramos la velocidad de la ALU al doble), estaremos mejorando el tiempo de ejecución de todas las instrucciones aritméticas y las instrucciones lógicas pero el resto de instrucciones (de carga, almacenamiento, saltos...) se ejecutarán a la misma velocidad que antes de aplicar la mejora. Por tanto solo hemos mejorado el doble durante una fracción de tiempo, y la mejora global del sistema es menor que la mejora local.



Speed-up

La cantidad de mejora global de rendimiento de un sistema, formalmente se le llama aceleración o *speed-up* del sistema.

La mejora de rendimiento de un sistema o *speed-up*, se calcula comparando los tiempos de ejecución antes y después de aplicar una mejora:

$$\text{Speed-up} = \text{Tej antes de la mejora} / \text{Tej después de la mejora} = \text{Performance (con mejora)} / \text{Performance sin mejora}$$

Algunas conclusiones que podemos extraer de esta fórmula:

- Si hemos mejorado el rendimiento con el cambio de configuración de la arquitectura, el tiempo de ejecución después de la mejora será menor que el tiempo de ejecución antes de la mejora.
- Si mejoramos, el *speed-up* será mayor que 1.
- Si empeoramos, el *speed-up* será menor que 1.
- Si no mejoramos ni empeoramos con el cambio aplicado, el *speed-up* será igual a 1.

El *speed-up* nos indica cuántas veces más rápida es nuestra arquitectura después de aplicar la mejora.



Ley de Amdahl

La Ley de Amdahl permite representar matemáticamente cómo influye una mejora sobre un componente o varios (que se utilizan durante un porcentaje del tiempo de ejecución) en la mejora global del rendimiento de una computadora.

Si mejoramos **x veces** un componente de un computador, el componente será x veces más rápido, es decir, hará el mismo trabajo en x veces menos tiempo. Si ese componente se utiliza durante una **fracción de tiempo F** del tiempo total de la ejecución, ¿cuál será el tiempo de ejecución del sistema después de la mejora?

Tiempo de ejecución con mejora = tiempo de ejecución sin mejora * F / x + tiempo de ejecución sin mejora * (1-F)

Donde (1-F) representa la fracción de tiempo en la cual no hay mejora (en tanto por uno).

Si operamos con la fórmula anterior:

- Tiempo de ejecución con mejora = tiempo de ejecución sin mejora * $(F / x + (1-F))$
- $1 / (F / x + (1-F))$ = tiempo de ejecución sin mejora / tiempo de ejecución con mejora = Speed-up
- Speed-up = $1 / (F / x + (1-F))$

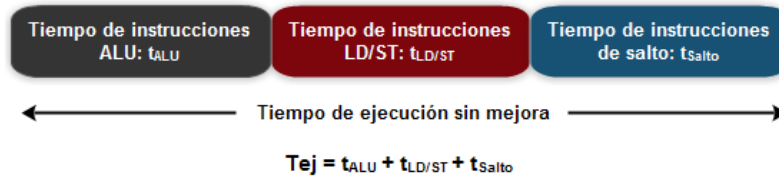
$$S = \frac{x}{F+x \cdot (1-F)}$$

Donde:

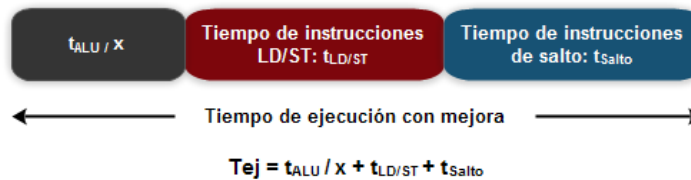
S	Es la aceleración o speed-up del sistema.
x	Es la mejora parcial aplicada durante una fracción de tiempo F.

Gráficamente

Imaginemos que tras la ejecución de un programa de prueba sobre un computador, se calculan las frecuencias de uso de cada tipo de instrucciones aritmético-lógicas (ALU), acceso a memoria (LD/ST) y Salto; y se calculan los tiempos totales que ocupa cada tipo de instrucciones en el procesador.



Si reducimos el tiempo de las operaciones aritmético-lógicas x veces, el tiempo de ejecución será el siguiente.



$S = \text{tiempo de ejecución sin mejora} / \text{tiempo de ejecución con mejora}$

$$S = (t_{ALU} / x + t_{LD/ST} + t_{Salto}) / (t_{ALU} / x + t_{LD/ST} + t_{Salto})$$

$$S = x / (t_{ALU} + x * (t_{LD/ST} + t_{Salto}))$$

$$S = \frac{x}{F + x \cdot (1 - F)}$$

Ejemplo

Un arquitecto de computadores se plantea aplicar una mejora en las operaciones en coma flotante que hará que este tipo de instrucciones se realicen en un tiempo de ejecución 10 veces menor.

Se estima que el 40% de las instrucciones operan con números reales.

¿Cuál es el Speed-up o aceleración del sistema al aplicar esta mejora?

Solución

Mejora	$x = 10$
Frecuencia de uso	$F = 0,4$

$$S = \frac{x}{F + x \cdot (1 - F)} = \frac{10}{0,4 + 10 \cdot (1 - 0,4)} = 1,56 \text{ veces más rápido.}$$

Es decir, las operaciones con números reales mejoran un 1000%, pero el sistema global solo mejora un 56%



Varias mejoras

La Ley de Amdahl también permite calcular el speed-up o aceleración de una computadora, cuando aplicamos varias mejoras a la vez en distintos componentes.

Imaginemos que aplicamos varias mejoras a la vez: cada uno de los componentes mejorados se utiliza durante una **fracción de tiempo** f_i , y cada mejora la representaremos por un **factor de mejora** R_i .



La fórmula de speed-up o mejora global del sistema se calcula como:

$$S = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{R_i}\right)}$$

¡Ojo! Hay que tener en cuenta que una de las mejoras hará referencia a la fracción de tiempo en la cual no aplicamos ninguna mejora.

Cuando no hay mejora, el factor de mejora considerado será $R_i = 1$.

Limitación de la ley de Amdahl

La Ley de Amdahl nos permite representar cuánto es la mejora global de un sistema al aplicar una mejora sobre un componente. Pero esta ley tiene una limitación.

El principal inconveniente de la Ley de Amdahl aparece cuando introducimos varias mejoras a la vez y queremos calcular la mejora global del sistema, pues **la fórmula presentada sólo funciona si las mejoras aplicadas no se solapan en el tiempo**. Es decir, que durante una ejecución, nunca se están aplicando dos o más mejoras a la vez.

Por ejemplo, si queremos calcular el speed-up de un sistema en el que mejoremos la velocidad del procesador (se usa el 95% del tiempo), y los accesos a memoria (el 20% de las instrucciones son de acceso a memoria), resulta que hay momentos en los que se están aplicando ambas mejoras simultáneamente, por lo que en este caso no podríamos aplicar directamente la ley de Amdahl.

En este caso, el speed-up final habría que calcularlo en dos pasos. Primero calcularíamos cuánto se reduce el tiempo de ejecución con la primera mejora y después obtendríamos el speed-up de la segunda mejora.



Resumen

Una parte importante de la arquitectura de computadores es la mejora de un sistema hardware mediante la mejora de algunos componentes.

- El ingeniero de computadores cuenta con un presupuesto limitado y no podrá mejorar todos los componentes. Para decidir qué parte mejorar, hay que fijarse en aquellos componentes o tareas que se utilizan durante más tiempo.
- El ingeniero debe saber calcular la mejora global de un sistema cuando se aplica una mejora (o varias) sobre un componente específico.
- Un error cometido frecuentemente por arquitectos de computadores es pensar que al aplicarse una mejora en el rendimiento de un componente, el sistema global mejorará en la misma proporción.
- La ley de Amdahl ayuda a representar matemáticamente todos estos conceptos, permitiendo calcular la mejora global de un sistema basándose en mejoras parciales.