Multiplicación de matrices de forma secuencial y paralela

Presentado por:

Santiago Sosa Herrera

Presentado a:

Ramiro Andrés Barrios Valencia

HPC: High Performance Computing

Ingeniería de Sistemas y Computación

Universidad Tecnológica de Pereira

2023

**Tabla de contenido**

**Resumen1**

**Introducción2**

**Marco Conceptual3**

High Performance Computing3

Multiplicación matricial3

Complejidad Computacional3

Programación paralela3

Hilos3

Speedup3

**Marco Contextual4**

Características de la máquina4

Desarrollo5

Pruebas6

Tabla 1: Resultados de la ejecución secuencial7

Tabla 2: Resultados de la ejecución hilos 8

Tabla 3: Resultados de la ejecución procesos 9

Tabla 4: Resultados de la ejecución transpuesta 13

Tabla 5: Resultados de la ejecución O3 14

Graficas comparativas 15

Conclusiones17

**Bibliografía18**

**Resumen**

En este trabajo se aborda el problema de la multiplicación de matrices en C, utilizando diferentes técnicas para mejorar su rendimiento. Primero, se implementó la solución secuencial y se midió su tiempo de ejecución para matrices de diferentes tamaños. Luego, se utilizó la programación con hilos para paralelizar el cálculo y se comparó su desempeño con el método secuencial.

Además, se exploró la programación con procesos como otra alternativa de paralelización y se midió su tiempo de ejecución. También se aplicó la optimización del código mediante el uso de la consola de comandos para compilar el programa y se midió el tiempo de ejecución de esta versión optimizada.

Finalmente, se implementó la transposición de la matriz para reducir los accesos a memoria y mejorar el rendimiento. Se midió el tiempo de ejecución de esta solución y se comparó con las otras técnicas implementadas. Los resultados obtenidos indican que la multiplicación de matrices utilizando hilos y la optimización por consola son las técnicas más eficientes para este problema.

**Introducción**

La multiplicación de matrices es una operación fundamental en la computación científica y el procesamiento de datos. Esta operación se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el análisis de datos, el aprendizaje automático, la simulación de sistemas físicos, entre otros. Sin embargo, la multiplicación de matrices puede ser computacionalmente costosa y presenta varios desafíos en cuanto a la complejidad del algoritmo y la optimización de código.

Uno de los principales problemas asociados con la multiplicación de matrices es su complejidad computacional, que crece de manera exponencial con el tamaño de las matrices. Esto puede limitar el uso de la multiplicación de matrices en aplicaciones en las que se requiere procesamiento rápido de grandes conjuntos de datos. Para hacer frente a este problema, se han desarrollado diversos enfoques y técnicas de optimización de código, como la utilización de algoritmos paralelos y la explotación de la memoria caché.

La programación paralela es un enfoque comúnmente utilizado para optimizar la multiplicación de matrices. Esto implica dividir la tarea de multiplicación de matrices en tareas más pequeñas que se ejecutan simultáneamente en diferentes hilos o procesos. Esta técnica puede mejorar significativamente el rendimiento y la eficiencia del código.

Además, también se han utilizado técnicas como la matriz transpuesta y la optimización de compilación para mejorar el rendimiento del código. La matriz transpuesta permite aprovechar la localidad de la memoria caché, reduciendo el tiempo de acceso a la memoria y mejorando así el rendimiento. La optimización de compilación, por su parte, implica la utilización de técnicas de optimización de código en el proceso de compilación, mejorando así el rendimiento y la eficiencia del código generado.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio en el que se compararon diferentes enfoques para la multiplicación de matrices en el lenguaje de programación C. Se evaluó el rendimiento del método secuencial, por hilos, por procesos, optimización por consola, y matriz transpuesta. Los resultados muestran que el enfoque de programación paralela utilizando hilos y la matriz transpuesta son altamente eficientes en términos de tiempo de ejecución y rendimiento en comparación con otros enfoques.

**Marco conceptual**

**High Performance Computing:** High Performance Computing es un área de la informática que se dedica a crear sistemas informáticos y software que puedan manejar tareas de alta complejidad y procesamiento de grandes volúmenes de datos en un período de tiempo muy corto.

**Multiplicación matricial:** La multiplicación matricial es una operación que se realiza entre dos matrices y que arroja como resultado una tercera matriz. Esta operación es muy importante en distintos campos de la ciencia y la ingeniería, y se utiliza en problemas lineales y de optimización.

**Complejidad Computacional:** La complejidad computacional es una forma de medir los recursos que se necesitan para resolver un problema computacional. Sirve para determinar la dificultad de un problema y para comparar la eficiencia de distintos algoritmos.

**Programación paralela:** La programación paralela es una técnica de programación que se basa en dividir un problema en tareas más pequeñas y ejecutarlas en múltiples procesadores al mismo tiempo. Esta técnica se utiliza para mejorar la eficiencia de los sistemas informáticos y acelerar la resolución de problemas.

**Hilos:** Los hilos son una forma de dividir la ejecución de un programa en unidades más pequeñas y manejables, lo que permite que varias tareas se realicen simultáneamente. Cada hilo funciona de manera independiente, con su propia pila de memoria y compartiendo recursos con otros hilos dentro del mismo proceso. El uso de hilos puede mejorar significativamente la eficiencia y velocidad de ejecución de una aplicación.

**Speedup:** El speedup se utiliza para medir la mejora en la velocidad de ejecución de un programa cuando se ejecuta en un sistema de cómputo más rápido o en paralelo. Se mide en términos de una relación entre el tiempo que tarda un programa en ejecutarse en un sistema de cómputo determinado y el tiempo que tarda en ejecutarse en un sistema más rápido. Cuanto mayor sea el speedup, mayor será la mejora en el rendimiento.

**Marco Contextual**

**Características de la maquina**

Las características del pc donde se realizaron las pruebas son los siguientes:

* Procesador AMD A8-7410 apu with amd Radeon r5 graphics x 4
* Memoria 6,7 GiB
* SO 64 bits
* Disco de 295 GB
* Sistema operativo Linux Mint 19
  + Gnome 3.28.2

**Desarrollo**

Para el inicio del trabajo se empezó desarrollando la multiplicación de matrices de forma normal, es decir secuencial, este código tenia que recibir por parámetro en consola el tamaño de las matrices, que eran cuadradas, y en el caso de hilos y procesos otro para el numero de estos, para el código de los otros programas básicamente se modificaba el secuencial para adaptarlos a cada caso, además, se le agrego a cada uno una forma de medir el tiempo en que demoraba el programa en ejecutar todo, con ayuda de la librería time.h.  
  
Posteriormente con ayuda de un script se ejecutaban estos programas una cantidad de veces determinada para cada tamaño de las matrices calculadas, las cuales fueron 10, 100, 200, 400, 800, 1600 y 3.200.  
  
En la multiplicación de matrices con hilos se hizo uso de la librería de C, pthread para el manejo de hilos.

Entendiendo como funciona la multiplicación con hilos básicamente se puede entender como funcionan los otros métodos, para cada hilo procesa un rango de filas de la matriz resultado C. El rango se calcula dividiendo el número total de filas por el número total de hilos. Cada hilo también recibe como argumentos, las matrices A y B, así como los tamaños de las matrices y el número total de hilos.

Después de crear los hilos, se espera a que terminen usando la función pthread\_join(). Una vez que todos los hilos han terminado, se puede imprimir la matriz resultado, o terminar midiendo el tiempo que demoro en ejecutarse.

Cabe señalar que esta implementación divide las filas de la matriz C entre los hilos, pero también se podrían dividir las columnas o incluso bloques de la matriz C para obtener un mejor rendimiento. Además, para matrices muy grandes, se podría utilizar una técnica de división recursiva en la que cada hilo multiplica submatrices más pequeñas para aprovechar mejor el paralelismo.

**Pruebas**

1. Resultados de ejecutar el algoritmo en forma secuencial:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000112 | 0,014843 | 0,098059 | 0,888076 | 5,552384 | 15,000685 | 31,377433 | 266,019738 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000204 | 0,016888 | 0,093718 | 0,877490 | 5,719945 | 15,002777 | 31,093422 | 264,814952 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000205 | 0,015730 | 0,094430 | 0,871610 | 5,388444 | 14,974775 | 31,121343 | 265,222653 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000239 | 0,013825 | 0,095561 | 0,871919 | 5,442154 | 14,970025 | 31,072066 | 264,939481 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000095 | 0,020637 | 0,094184 | 0,865209 | 5,373655 | 14,995896 | 31,147720 | 264,807805 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000090 | 0,011772 | 0,094802 | 0,886910 | 5,498816 | 14,992217 | 31,262192 | 265,177446 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000210 | 0,013281 | 0,094455 | 0,869835 | 5,413974 | 14,988915 | 31,231712 | 265,524536 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000088 | 0,011850 | 0,095684 | 0,869758 | 5,405491 | 14,939653 | 31,977184 | 265,122534 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000216 | 0,016110 | 0,094074 | 0,866782 | 5,402242 | 14,905383 | 31,795027 | 264,827617 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000210 | 0,018044 | 0,094225 | 0,861536 | 5,395378 | 15,521809 | 31,814963 | 275,715047 |
| Promedio | 0,0001669 | 0,015298 | 0,0949192 | 0,8729125 | 5,4592483 | 15,0292135 | 31,3893062 | 266,2171809 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 2 hilos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000709 | 0,017464 | 0,125778 | 1,033544 | 6,423726 | 16,628052 | 36,349787 | 296,779504 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000950 | 0,016912 | 0,132485 | 1,033160 | 6,197521 | 15,973700 | 32,726146 | 285,298079 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000853 | 0,017015 | 0,128233 | 1,036969 | 6,186428 | 15,875732 | 32,515568 | 277,336486 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000802 | 0,025096 | 0,124889 | 1,028659 | 6,782820 | 15,957374 | 32,440586 | 278,268634 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001075 | 0,023157 | 0,129226 | 1,033115 | 6,172454 | 15,915244 | 32,519389 | 277,444121 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001148 | 0,017002 | 0,136628 | 1,052246 | 6,187337 | 15,866347 | 32,533681 | 293,540716 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001121 | 0,025109 | 0,127673 | 1,099258 | 6,234362 | 16,008939 | 32,432589 | 276,682155 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000730 | 0,024534 | 0,125077 | 1,031679 | 6,172880 | 15,843013 | 32,445940 | 277,891267 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000818 | 0,019286 | 0,124015 | 1,031721 | 6,192647 | 15,900849 | 32,456881 | 277,402064 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001101 | 0,023799 | 0,124134 | 1,028148 | 6,154579 | 15,906563 | 32,433061 | 276,884794 |
| Promedio | 0,0009307 | 0,0209374 | 0,1278138 | 1,0408499 | 6,2704754 | 15,9875813 | 32,8853628 | 281,752782 |
| speedup | 0,17932739 | 0,73065424 | 0,74263655 | 0,83865358 | 0,8706275 | 0,94005549 | 0,95450692 | 0,944860878 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 4 hilos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001139 | 0,020479 | 0,129326 | 1,155768 | 6,867144 | 18,150768 | 37,041578 | 315,992051 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001236 | 0,025422 | 0,130410 | 1,151716 | 6,815911 | 18,267974 | 37,040825 | 319,276810 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000889 | 0,020659 | 0,131064 | 1,157434 | 6,873215 | 18,217650 | 37,028847 | 319,241700 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001249 | 0,018387 | 0,131548 | 1,162087 | 6,897173 | 18,107880 | 37,046521 | 320,050825 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001211 | 0,025689 | 0,126868 | 1,160085 | 6,825306 | 18,295248 | 37,342997 | 319,703308 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001290 | 0,020450 | 0,132150 | 1,163357 | 6,858796 | 18,270532 | 37,319737 | 318,998588 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001520 | 0,025146 | 0,127859 | 1,160428 | 6,788339 | 18,223719 | 37,281823 | 317,784114 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001041 | 0,018001 | 0,136259 | 1,157861 | 6,751700 | 18,150283 | 36,847563 | 320,513042 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001000 | 0,023841 | 0,126262 | 1,159708 | 6,821286 | 18,233298 | 36,955950 | 315,508297 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001342 | 0,020126 | 0,134370 | 1,194696 | 6,830868 | 18,299677 | 37,155541 | 321,034431 |
| Promedio | 0,0011917 | 0,02182 | 0,1306116 | 1,162314 | 6,8329738 | 18,2217029 | 37,1061382 | 318,8103166 |
| speedup | 0,14005203 | 0,70109991 | 0,72672871 | 0,75101264 | 0,79895642 | 0,82479742 | 0,84593298 | 0,835033144 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 8 hilos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001921 | 0,021236 | 0,131148 | 1,159726 | 6,707492 | 17,657901 | 36,687143 | 336,523824 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001764 | 0,020900 | 0,130653 | 1,156866 | 6,727012 | 17,725773 | 37,521637 | 336,654261 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002022 | 0,022253 | 0,126962 | 1,169180 | 6,703998 | 17,957113 | 37,462457 | 339,010547 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001822 | 0,024246 | 0,126576 | 1,165729 | 6,725124 | 17,971105 | 37,390412 | 334,210517 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002223 | 0,024669 | 0,131865 | 1,195519 | 6,691962 | 17,707515 | 37,150439 | 336,688182 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002081 | 0,021546 | 0,130335 | 1,162736 | 6,729389 | 17,793205 | 37,168015 | 338,005241 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001703 | 0,018834 | 0,130116 | 1,153161 | 6,716366 | 18,213667 | 37,624068 | 339,827326 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001600 | 0,019552 | 0,125509 | 1,167360 | 6,745344 | 18,101263 | 38,747480 | 338,924336 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001416 | 0,015558 | 0,128929 | 1,183119 | 6,791207 | 18,239481 | 38,425846 | 345,331175 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001655 | 0,020456 | 0,132578 | 1,173142 | 6,783369 | 18,462749 | 38,373886 | 340,082292 |
| Promedio | 0,0018207 | 0,020925 | 0,1294671 | 1,1686538 | 6,7321263 | 17,9829772 | 37,6551383 | 338,5257701 |
| speedup | 0,09166804 | 0,73108722 | 0,73315306 | 0,74693849 | 0,81092482 | 0,83574668 | 0,83359955 | 0,786401522 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 16 hilos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002068 | 0,018441 | 0,126692 | 1,171259 | 6,667770 | 18,239897 | 37,889030 | 376,134016 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002745 | 0,018866 | 0,132047 | 1,283717 | 7,284910 | 19,372397 | 39,914063 | 378,641970 |
| Tiempo transcurrido: | 0,003684 | 0,019126 | 0,131929 | 1,318028 | 7,450903 | 19,794836 | 40,772982 | 374,314949 |
| Tiempo transcurrido: | 0,003019 | 0,017759 | 0,132142 | 1,278892 | 7,352293 | 19,384263 | 39,620225 | 360,780308 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001371 | 0,017585 | 0,129356 | 1,318541 | 7,329991 | 19,346170 | 39,963410 | 357,885004 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002295 | 0,018238 | 0,131213 | 1,239100 | 7,311337 | 19,084670 | 39,427284 | 352,198454 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002035 | 0,017853 | 0,129853 | 1,232047 | 7,148703 | 19,227051 | 39,221607 | 349,855373 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002170 | 0,018067 | 0,130741 | 1,244318 | 7,185803 | 19,217199 | 39,150757 | 350,124735 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002694 | 0,017961 | 0,133043 | 1,241046 | 7,228599 | 19,072587 | 39,012785 | 350,288621 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002720 | 0,018148 | 0,131104 | 1,238364 | 7,201756 | 19,163311 | 39,147825 | 350,430271 |
| Promedio | 0,0024801 | 0,0182044 | 0,130812 | 1,2565312 | 7,2162065 | 19,1902381 | 39,4119968 | 360,0653701 |
| speedup | 0,06729567 | 0,84034629 | 0,72561539 | 0,69470022 | 0,75652606 | 0,78316973 | 0,79644039 | 0,739357914 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 32 hilos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,004100 | 0,019823 | 0,132199 | 1,183707 | 7,016701 | 19,117129 | 39,227038 | 349,625937 |
| Tiempo transcurrido: | 0,003326 | 0,019927 | 0,132557 | 1,200787 | 7,020638 | 19,040254 | 39,217959 | 348,804531 |
| Tiempo transcurrido: | 0,004032 | 0,019306 | 0,132714 | 1,184925 | 6,981069 | 19,047399 | 39,260642 | 351,502683 |
| Tiempo transcurrido: | 0,003472 | 0,020203 | 0,133567 | 1,154502 | 6,854435 | 18,873613 | 39,173794 | 364,294019 |
| Tiempo transcurrido: | 0,003785 | 0,020419 | 0,131637 | 1,149742 | 6,761599 | 18,850749 | 39,222327 | 347,170011 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002944 | 0,018824 | 0,131493 | 1,119006 | 6,963014 | 19,088307 | 39,035648 | 346,463762 |
| Tiempo transcurrido: | 0,004342 | 0,022055 | 0,133268 | 1,172042 | 6,948171 | 18,966107 | 39,187647 | 346,028272 |
| Tiempo transcurrido: | 0,004390 | 0,021174 | 0,133281 | 1,171294 | 6,942332 | 18,800211 | 39,021650 | 346,590376 |
| Tiempo transcurrido: | 0,004136 | 0,022167 | 0,132682 | 1,174626 | 6,958309 | 18,958815 | 39,121248 | 347,117564 |
| Tiempo transcurrido: | 0,004033 | 0,022238 | 0,133457 | 1,168929 | 6,854764 | 19,026562 | 39,105772 | 346,668133 |
| Promedio | 0,003856 | 0,0206136 | 0,1326855 | 1,167956 | 6,9301032 | 18,9769146 | 39,1573725 | 349,4265288 |
| speedup | 0,0432832 | 0,74213141 | 0,7153698 | 0,74738475 | 0,78775859 | 0,7919735 | 0,80161932 | 0,761868831 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000370 | 0,001208 | 0,003511 | 0,012140 | 0,026325 | 0,045950 | 0,071824 | 0,278613 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000374 | 0,001221 | 0,003497 | 0,011987 | 0,026471 | 0,046724 | 0,072314 | 0,295028 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000340 | 0,001151 | 0,003345 | 0,012116 | 0,026547 | 0,048269 | 0,073111 | 0,280174 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000328 | 0,001071 | 0,003394 | 0,011992 | 0,026498 | 0,046831 | 0,072418 | 0,276730 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000363 | 0,001124 | 0,003363 | 0,012072 | 0,026383 | 0,046119 | 0,071762 | 0,277836 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000335 | 0,001094 | 0,003315 | 0,012052 | 0,026350 | 0,046086 | 0,071602 | 0,276818 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000327 | 0,001140 | 0,003355 | 0,011885 | 0,026356 | 0,046005 | 0,071510 | 0,276495 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000412 | 0,001089 | 0,003384 | 0,012055 | 0,026397 | 0,048313 | 0,071406 | 0,273978 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000335 | 0,001054 | 0,003284 | 0,012110 | 0,026355 | 0,046217 | 0,071593 | 0,273896 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000345 | 0,001123 | 0,003380 | 0,012071 | 0,026347 | 0,046187 | 0,071684 | 0,276982 |
| Promedio | 0,0003529 | 0,0011275 | 0,0033828 | 0,012048 | 0,0264029 | 0,0466701 | 0,0719224 | 0,278655 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 2 procesos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| speedup | 0,47293851 | 13,568071 | 28,0593591 | 72,4528967 | 206,766995 | 322,030883 | 436,432964 | 955,364809 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 4 procesos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000477 | 0,001245 | 0,003565 | 0,012266 | 0,026441 | 0,046337 | 0,072306 | 0,278541 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000467 | 0,001183 | 0,003455 | 0,012013 | 0,026699 | 0,046284 | 0,071867 | 0,277908 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000462 | 0,001181 | 0,003543 | 0,012076 | 0,026385 | 0,046315 | 0,070853 | 0,279523 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000455 | 0,001194 | 0,003503 | 0,012258 | 0,026724 | 0,046194 | 0,071759 | 0,286039 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000480 | 0,001200 | 0,003456 | 0,012290 | 0,026916 | 0,046433 | 0,071670 | 0,277054 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000504 | 0,001273 | 0,003500 | 0,012342 | 0,026706 | 0,046406 | 0,071741 | 0,277222 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000508 | 0,001246 | 0,003405 | 0,012311 | 0,026394 | 0,046323 | 0,071957 | 0,280613 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000548 | 0,001250 | 0,003594 | 0,012486 | 0,026541 | 0,046264 | 0,072010 | 0,277908 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000471 | 0,001213 | 0,003639 | 0,012084 | 0,026573 | 0,046413 | 0,071817 | 0,286564 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000521 | 0,001291 | 0,003478 | 0,012579 | 0,026554 | 0,046038 | 0,072047 | 0,278317 |
| Promedio | 0,0004893 | 0,0012276 | 0,0035138 | 0,0122705 | 0,0265933 | 0,0463007 | 0,0718027 | 0,2799689 |
| speedup | 0,34109953 | 12,4617139 | 27,013262 | 71,1391141 | 205,286606 | 324,600136 | 437,160527 | 950,881262 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000747 | 0,001527 | 0,004235 | 0,012737 | 0,027108 | 0,047338 | 0,073156 | 0,292343 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000668 | 0,001375 | 0,003952 | 0,011025 | 0,027536 | 0,042291 | 0,064258 | 0,252196 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000935 | 0,001923 | 0,004475 | 0,013226 | 0,029795 | 0,045497 | 0,066879 | 0,254428 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000664 | 0,002031 | 0,004514 | 0,014159 | 0,027683 | 0,044390 | 0,069274 | 0,247959 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000651 | 0,001374 | 0,004637 | 0,013177 | 0,027724 | 0,044811 | 0,067023 | 0,254650 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000900 | 0,001966 | 0,004685 | 0,013515 | 0,027125 | 0,045295 | 0,065203 | 0,250138 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000945 | 0,002524 | 0,003956 | 0,013472 | 0,029877 | 0,047368 | 0,067222 | 0,255497 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000888 | 0,001477 | 0,003869 | 0,012534 | 0,025341 | 0,046815 | 0,065078 | 0,257173 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000685 | 0,001461 | 0,004155 | 0,011629 | 0,028065 | 0,042704 | 0,067172 | 0,252121 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000926 | 0,001753 | 0,004434 | 0,011664 | 0,023802 | 0,046038 | 0,068439 | 0,260033 |
| Promedio | 0,0008009 | 0,0017411 | 0,0042912 | 0,0127138 | 0,0274056 | 0,0452547 | 0,0673704 | 0,2576538 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 8 procesos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| speedup | 0,20839056 | 8,7863994 | 22,1195004 | 68,6586622 | 199,201926 | 332,10282 | 465,921327 | 1033,236 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con 16 procesos:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,002054 | 0,003370 | 0,004502 | 0,013815 | 0,029029 | 0,046839 | 0,069901 | 0,267410 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001149 | 0,003115 | 0,004573 | 0,014088 | 0,026906 | 0,046208 | 0,068070 | 0,265902 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001148 | 0,001938 | 0,004568 | 0,013654 | 0,028686 | 0,045295 | 0,068481 | 0,267805 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001136 | 0,002989 | 0,005267 | 0,016931 | 0,028096 | 0,047553 | 0,068452 | 0,266462 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001161 | 0,002005 | 0,004924 | 0,013729 | 0,027903 | 0,047879 | 0,071617 | 0,267662 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001263 | 0,002200 | 0,004971 | 0,016027 | 0,028692 | 0,048075 | 0,068996 | 0,266256 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001169 | 0,003022 | 0,004932 | 0,014713 | 0,029545 | 0,045707 | 0,070188 | 0,267936 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001139 | 0,001955 | 0,004393 | 0,015031 | 0,027828 | 0,050235 | 0,071072 | 0,267945 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001343 | 0,002108 | 0,004609 | 0,016229 | 0,030607 | 0,048364 | 0,067432 | 0,266927 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001161 | 0,002705 | 0,005209 | 0,014889 | 0,028102 | 0,043785 | 0,075668 | 0,276816 |
| Promedio | 0,0012723 | 0,0025407 | 0,0047948 | 0,0149106 | 0,0285394 | 0,046994 | 0,0699877 | 0,2681121 |
| speedup | 0,13117975 | 6,02117527 | 19,7962793 | 58,5430834 | 191,288124 | 319,811327 | 448,497467 | 992,932363 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con “la matriz transpuesta” el cual consiste en multiplicar línea por línea

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001251 | 0,018245 | 0,139194 | 1,335608 | 7,625626 | 19,357562 | 39,900332 | 357,074447 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001251 | 0,017623 | 0,136773 | 1,296270 | 7,431005 | 19,349726 | 39,813752 | 353,028457 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000796 | 0,017762 | 0,135493 | 1,261941 | 7,249602 | 18,921681 | 39,296889 | 348,654123 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001192 | 0,017662 | 0,142030 | 1,252363 | 7,271393 | 18,813237 | 39,198193 | 347,840245 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001205 | 0,017858 | 0,135765 | 1,255282 | 7,315442 | 18,921431 | 39,434000 | 346,221380 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000842 | 0,017961 | 0,135723 | 1,259195 | 7,278198 | 19,116688 | 39,268730 | 352,655130 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001179 | 0,017892 | 0,135946 | 1,248427 | 7,295930 | 19,024492 | 39,138111 | 345,640279 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000897 | 0,017879 | 0,135861 | 1,263945 | 7,300090 | 18,863366 | 39,278499 | 349,104166 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000798 | 0,017710 | 0,138235 | 1,254051 | 7,326372 | 19,167805 | 39,526523 | 348,163095 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001478 | 0,017722 | 0,135695 | 1,264202 | 7,349434 | 19,110710 | 39,434593 | 353,080798 |
| Promedio | 0,0010889 | 0,0178314 | 0,1370715 | 1,2691284 | 7,3443092 | 19,0646698 | 39,4289622 | 350,146212 |
| speedup | 0,15327395 | 0,85792478 | 0,69247947 | 0,68780472 | 0,7433304 | 0,78832803 | 0,7960977 | 0,7603029 |

1. Resultado de ejecutar el algoritmo con optimización por consola con O3 (para este se utilizó el programa basado en hilos)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tiempo\matriz | 10 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 2000 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000753 | 0,004525 | 0,029347 | 0,254745 | 2,622681 | 7,580328 | 17,078606 | 159,972599 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001299 | 0,004452 | 0,028180 | 0,251122 | 2,602054 | 7,608626 | 17,213217 | 152,308526 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001033 | 0,004405 | 0,028344 | 0,250584 | 2,638467 | 7,225962 | 16,204637 | 155,446091 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001131 | 0,004920 | 0,029431 | 0,299703 | 2,876759 | 7,858464 | 17,515124 | 156,016079 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000799 | 0,004411 | 0,027902 | 0,254227 | 2,598293 | 7,434792 | 17,096038 | 154,578270 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001020 | 0,004485 | 0,027989 | 0,257431 | 2,578475 | 7,310787 | 16,529685 | 157,773493 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001158 | 0,004414 | 0,028212 | 0,254085 | 2,633246 | 7,618838 | 16,607813 | 150,037200 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001099 | 0,004504 | 0,028093 | 0,272297 | 2,696481 | 7,372919 | 16,211457 | 150,168715 |
| Tiempo transcurrido: | 0,000632 | 0,004333 | 0,027735 | 0,284278 | 2,733056 | 7,405200 | 16,231725 | 148,321383 |
| Tiempo transcurrido: | 0,001008 | 0,004641 | 0,028271 | 0,261401 | 2,662098 | 7,335154 | 16,315410 | 149,599843 |
| Promedio | 0,0009932 | 0,004509 | 0,0283504 | 0,2639873 | 2,664161 | 7,475107 | 16,7003712 | 153,42222 |
| speedup | 0,16804269 | 3,39277002 | 3,34807269 | 3,30664581 | 2,04914354 | 2,01056834 | 1,8795574 | 1,73519312 |

**Graficas comparativas**

Para ver un poco mejor y poder ver las diferencias entre las implementaciones, las vemos comparadas en gráficos para poder diferenciarlo de otra manera, los valores del eje X representan el tamaño de la matriz siendo 8 el máximo de 2000 valores

**Grafico en Logaritmo base 10**

**Mejora de velocidades con respecto a la secuencial**

**Conclusiones**

1. Este trabajo podría decir que el uso de hilos podría no ser verdaderamente efectivo por que claramente podemos ver que es mucho peor que hacerlo secuencialmente, pero no podemos decir lo mismo de los procesos.

1. A medida que mas hilos se utilizaban mas se demoraba, por lo que puedo concluir que el sistema y el ambiente en el que se estaba probando quizás no eran los adecuados ya que en otros sistemas como el compilador online de C nos dice otra cosa con respecto a los tiempos, mostrando ser muchísimo mejor que la forma secuencial
2. Podemos ver que el sistema no respondía muy bien utilizando hilos como parte de su desarrollo ya que la matriz transpuesta al estar hecha en base al código de los hilos, también mostro deficiencia comparado con los otros, como por ejemplo con procesos.
3. No se puede establecer el porque la diferencia tan absurda entre los hilos y los procesos siendo ambos ambientes paralelos pero que necesitaba muchos mas recursos el de procesos, se puede intuir que el sistema en el que se estaba implementando no lo sabia usar de la mejor forma o tenía problemas para este.

**Bibliografía**

* HPC for Research (Sitio web de recursos)
* Introduction to Matrix Multiplication (Artículo)
* CUDA Programming (Sitio web de recursos)
* Understanding Speedup in Parallel Computing (Artículo)
* "Introduction to Multithreading in C" (artículo)