



DEPARTAMENTO
DE COMPUTACION

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Filtros de imágenes - Grupo: SnakeII/Nokia1100

15 de junio de 2015

Organización del Computador II
Trabajo Práctico Nro. 2

Integrante	LU	Correo electrónico
Pablo Gomez	156/13	mag0-1986@hotmail.com
Lucía Parral	162/13	luciaparral@gmail.com
Petr Romachov	412/13	promachov@gmail.com

Instancia	Docente	Nota
Primera entrega		
Segunda entrega		



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Ciudad Universitaria - (Pabellón I/Planta Baja)

Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Rep. Argentina

Tel/Fax: (+54 +11) 4576-3300

<http://www.exactas.uba.ar>

Índice

1. Introducción	2
1.1. Sobre la experimentación	2
2. Blur	4
2.1. Introducción	4
2.2. Pseudocódigo en C	4
2.3. Implementación 1 en ASM	4
2.4. Implementación 2 en ASM	5
2.5. Resultados	5
2.5.1. Algunas conclusiones	7
3. Merge	9
3.1. Introducción	9
3.2. Pseudocódigo en C	9
3.3. Implementación 1 en ASM	9
3.4. Implementación 2 en ASM	10
3.5. Resultados	11
3.5.1. Algunas conclusiones	13
4. HSL	14
4.1. Introducción	14
4.2. Implementación 1	14
4.3. Implementación 2	16
4.4. Resultados	17
4.4.1. Algunas conclusiones	19

1. Introducción

En este trabajo práctico se busca experimentar con el procesamiento con instrucciones SIMD que operan con múltiples datos simultáneamente.

Con este fin, desarrollamos distintas implementaciones de los filtros Blur, Merge y HSL sobre imágenes y evaluamos su rendimiento.

1.1. Sobre la experimentación

Realizamos las experimentaciones para los tres filtros con sus respectivas implementaciones de la manera que se detalla a continuación:

Para realizar casos de tests exhaustivos, utilizamos imágenes de distintos tamaños y tipos. Es decir, tomamos imágenes de colores constantes (totalmente blancas, azules, verdes, rojas y negras), imágenes que tienen una predominancia principal de cada uno de esos colores y por último imágenes mixtas (muchos colores, donde ninguno de ellos es predominante).

Cada una de estas imágenes las procesamos en los tamaños 40x40 (1600 píxeles), 300x300 (90000 píxeles) y 600x600 (360000 píxeles), ya que nos pareció razonable mostrar la performance de las distintas implementaciones de los filtros variando su tamaño.

Para cada filtro, cada implementación, cada tamaño y cada imagen, calculamos la cantidad de ciclos de clock que transcurren en las instrucciones que procesan la imagen. Desde ya, que no se toma en cuenta el proceso en el que se carga la imagen, se leen los headers, se hace una copia de la imagen para procesar, etc, sino que solamente se mide el tiempo en el que el filtro en sí comienza a ejecutar, que es lo que varía entre las 3 implementaciones y que es lo que interesa medir.

Para medir los ciclos de clock usamos las funciones provistas por la cátedra en el archivo rdtsc.h.

Teniendo en cuenta que existen problemáticas al momento de conocer el tiempo de ejecución real de los programas, ya que la ejecución puede ser interrumpida por el scheduler para realizar un cambio de contexto o bien que los procesadores varían la frecuencia de reloj, ideamos la siguiente metodología para medir la cantidad de ciclos de clock de nuestras implementaciones:

Para cada test, realizamos 100 repeticiones, tomando el promedio de los resultados obtenidos; luego, descartamos el 10 % de los peores casos para eliminar así en los que fue más probable que el procesador haya cambiado de contexto. Una vez hecho esto, calculamos el desvío estándar del 90 % de los casos restantes, y de esta forma, obtuvimos un resultado promedio tal que sumando y restando el desvío estándar, se obtiene el resultado esperado en mejor y peor caso. Así mismo, el desvío estándar también nos sirve como indicador de qué tan precisas fueron las mediciones.

Además, por último, compilamos las implementaciones de C provistas por la cátedra con el parámetro de compilación -O3, que asegura la versión más optimizada del de ensamblado del código, para poder acercarnos a la mejor ejecución posible de dichas implementaciones.

Características técnicas de la computadora en la que se realizaron las experimentaciones: Las experimentaciones fueron realizadas, siempre sobre la misma computadora, para obtener resultados comparables, tratando de tenerla en el estado más estable posible para minimizar la posibilidad de cambio de contexto del procesador.

Sin más, la computadora cuenta con las siguientes características técnicas:

Memoria RAM: 7,7 GiB

Procesador: Intel Core i7-3630QM CPU 2.40GHz x 8

Sistema operativo: Ubuntu 14.04 64 bits

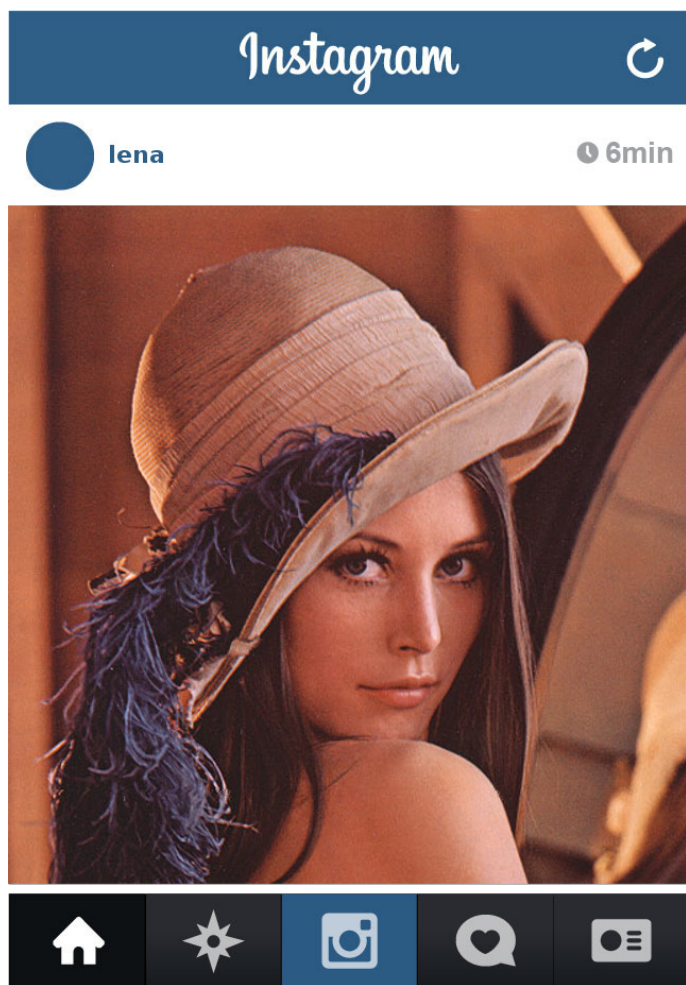
Para experimentar acerca de si variaba el rendimiento de una implementación en función del tipo de imagen testeado elaboramos la siguiente estrategia. Agrupamos por color los distintos tipos de imágenes con los que contábamos como casos de prueba, descritos en la introducción del apartado de experimentación, y tomamos el promedio de tiempos de ejecución (tomando el 10 % peor como outliers) para cada subgrupo.

Luego, tomando los promedios de cada tipo de imagen como el representante de dicho tipo, calculamos un promedio general de todos los subgrupos, obteniendo de esta forma el tiempo promedio demorado por la implementación para un tamaño dado.

También calculamos el desvío estándar entre todos los representantes de subgrupos, y una vez calculado, lo dividimos por el promedio y multiplicamos por 100 para tener un “porcentaje de desviación”. De esta forma, un porcentaje elevado significa que los representantes de cada tipo de imagen difieren significativamente, mientras que

un porcentaje pequeño, que todos los representantes estan cercanos al promedio y por lo tanto, las mediciones dentro de todos los tipos se mantiene estable.

Por último, tomamos como decisión para una mayor claridad en los gráficos, el utilizar escala logarítmica para representar los ciclos de clock, ya que de no hacerlo, se perdía claridad y representatividad en los mismos cuando el tiempo de ejecución era muy bajo en comparación con otros, por ejemplo, para las imágenes de 40x40 píxeles. De cualquier manera, en cada gráfico figurará qué tipo de escala está utilizando, y cualquier otra información relevante.



2. Blur

2.1. Introducción

Blur es un filtro que suaviza una imagen. Le asigna a cada píxel el promedio con sus píxeles vecinos. Es decir:

$$m[j][i][k] = (m[j-1][i-1][k] + m[j-1][i][k] + m[j-1][i+1][k] + \\ m[j][i-1][k] + m[j][i][k] + m[j][i+1][k] + \\ m[j+1][i-1][k] + m[j+1][i][k] + m[j+1][i+1][k]) / 9$$

De esta forma, la salida es la imagen en donde para cada píxel, se realizó el "suavizado" según el cálculo anterior.

2.2. Pseudocódigo en C

El pseudocódigo para una iteración del ciclo de la implementación de C provista por la cátedra es:

```
1
2  h      := Height of the image
3  w      := Width of the image
4  img    := Matrix<pixels> of size w x h
5  row0   := vector<pixels> of size w
6  row1   := vector<pixels> of size w
7
8
9  copy img.rows[0] into row1;
10
11 for ih from 1 to h-2 inclusive do:
12
13     swap(row0, row1);
14     copy img.rows[ih] into row1;
15
16     for iw from 1 to w-2 inclusive do:
17         for ii from 0 to 3 do:
18
19             img[ih][iw][ii] = (
20                 row0[iw-1][ii] + row0[iw][ii] + row0[iw+1][ii] +
21                 row1[iw-1][ii] + row1[iw][ii] + row1[iw+1][ii] +
22                 img[ih+1][iw-1][ii] + img[ih+1][iw][ii] + img[ih+1][iw+1][ii] ) / 9;
```

2.3. Implementación 1 en ASM

La primera implementación consiste en procesar de a un píxel por iteración.

La implementación comienza pidiendo memoria a través de *malloc*, igual que C, para copiar dos filas de la imagen a procesar.

Esto se hace debido a que de no hacerlo se presenta el siguiente problema: dado un píxel X que acaba de ser blureado, el píxel siguiente no puede tomar el valor de X para calcular el promedio de croma ya que este perdió su valor original. Notar que tampoco puede leer los de la fila anterior recién blureada, por el mismo problema; los únicos que puede leer son los de la fila 'siguiente', que aún no fue blureada. Entonces, necesitamos de 2 espacios de memoria para 'backupearlas', y poder leer de allí los valores originales.

Para la primera vez, se backupean las dos primeras filas y luego se van copiando en el ciclo de ejecución las 2 filas necesarias para cada fila que se bluree. Es por esta razón, que se comienza a blurear desde la segunda fila y no desde la primera.

En cuanto al ciclo en sí, levanta de a 4 píxeles de tres lugares distintos:

1. De uno de los 2 espacios de memoria mencionados, que contiene la fila anterior ya blureada.

2. Del otro de los 2 espacios de memoria mencionados, que contiene la fila que se está blureando actualmente.
3. De la fila siguiente que aún no fue blureada. (Como no fue blureada, sus componentes de croma contienen el valor original y pueden leerse).

A pesar de que se levantan de a cuatro píxeles, solo usamos 3 de ellos, ya que necesitamos 3 de cada uno para conseguir el promedio dado por el pseudocódigo provisto en el enunciado del TP.

Una cuestión importante es que los 4 píxeles que levantamos de la imagen original (de la fila que aún no fue blureada) son tomados 'defasados' 1 píxel a la izquierda, con el fin de no 'salirnos' de la imagen en el cálculo del último píxel. Notar que levantar defasados a la izquierda un píxel no hace que no accedamos a memoria que no es nuestra, ya que el píxel 'fuera' de la imagen que estamos pidiendo en la primer iteración, en realidad no está fuera de la imagen, ya que la iteración comienza en la segunda fila, por ende, ese píxel mencionado, pertenece a la primer fila, que es memoria accesible.

A continuación, shifteamos 1 píxel a derecha para subsanar lo recientemente explicado y tener los 3 píxeles que utilizaremos en la parte menos significativa de los xmm.

Eso hace que en este punto tengamos, en los 96 bits (3/4 de 128) menos significativos 3 xmms distintos, los 9 valores que necesitamos para blurear.

Una vez con los 9 píxeles guardados en registros xmm, calculamos el promedio y lo aplicamos al píxel correspondiente. Para hacer esto tuvimos que 'unpackear' los píxeles obtenidos para poder trabajar con las cromas separadas, y para poder realizar sumas con confianza, ya que si bien cada croma ocupa 8 bits (1 byte), sumar las 9 cromas de los 9 píxeles podría necesitar un tamaño mayor al de 8 bits. Para lograr un rango seguro, debimos 'unpackear' hasta dwords.

Luego, pasamos a floats las sumas para poder dividir, realizamos la division por 9 y volvimos a pasarlos a enteros para así finalizar el 'blureo' del píxel actual.

Finalmente, avanzamos un píxel y volvemos a iterar.

2.4. Implementación 2 en ASM

La implementación ASM2 realiza casi lo mismo que la ASM1 pero con la variación de que en vez de escribir en memoria 1 solo píxel por vez, escribe 2. Luego, como escribió 2 píxeles, avanza dos en la fila y realiza el mismo procedimiento. Teóricamente esta implementación debería realizar la mitad de ciclos de iteración ya que puede calcular 2 píxeles al mismo tiempo en vez de a 1.

Nota importante: A diferencia de como indica el enunciado del trabajo práctico, se decidió (previa consulta a docente) realizar esta metodología para la segunda implementación en assembler de Blur: Al igual que en ASM1, tomaremos 4 píxeles de cada línea, pero en lugar de deshechar el cuarto, si lo pensamos, con ese cuarto píxel podemos procesar el blureado de 2 píxeles en lugar de 1. Así que para ASM2 de Blur, realizaremos lo recién mencionado, y luego avanzaremos 2 píxeles para volver a blurear.

Esto ocurre y funciona bien ya que 2 píxeles cualesquiera adyacentes en la imagen comparten 4 píxeles entre sus matrices de vecinos, entonces, si ya gastamos el tiempo de traer esos 4 píxeles cuando trajimos la matriz de vecinos de un píxel dado, aprovechamos ese trabajo para blurear también el píxel adyacente siguiente. Nuevamente, para blurear dicho píxel adyacente siguiente, nos harán falta una columna de píxeles, la cual formamos con los píxeles extra que levantamos de memoria (y que la implementación ASM1 deshecha por completo) cuando bajamos la matriz de vecinos a registros xmm.

2.5. Resultados

A continuación, detallamos los resultados obtenidos a través de la experimentación con las distintas implementaciones en C y Assembler para este filtro y las conclusiones a las que llegamos tras el estudio de los mismos.

Tener en cuenta que el porcentaje de desvío estándar para cada implementación de este filtro resultó ser de:

Implementación	Porcentaje de Desvío Estándard
Blur C	+/- 4,8 %
Blur ASM1	+/- 13,8 %
Blur ASM2	+/- 12 %

Estos porcentajes representan que, para cada medición de cantidad de ciclos de clock de ejecución de una implementación dada de este filtro, tras descartar el 10 % de las peores mediciones, y tomar el promedio entre el 90 % de las mediciones restantes, el error varía entre +/- dicho porcentaje. Por ejemplo, dada la ejecución siguiente:

```
c blur image_1_40x40.bmp salida.bmp
```

Sobre las 100 repeticiones realizadas, tras descartar el 10 % de las peores, quedan 90 mediciones sobre las cuales el promedio calculado fue 319538 con margen de error de +/-3 %.

Las siguientes son las tablas resultantes de tomar el promedio de todos los tiempos medidos para imágenes tendientes a un mismo color, para los distintos tamaños evaluados, según se detalla en la introducción.

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur ASM1	azul	29333.87	1389083.47	5590953.07
Blur ASM1	blanco	28953.00	1319802.00	5539200.67
Blur ASM1	mixto	28765.56	1369988.44	5712646.67
Blur ASM1	negro	28342.25	1367054.50	5607272.25
Blur ASM1	rojo	28703.00	1370567.00	5651159.63
Blur ASM1	verde	28895.03	1363316.78	5635944.92
Promedio		28895.03	1363316.78	5635944.92
Desvio estándar		373.53	23102.01	69973.61
Porcentaje de desviación		1.29 %	1.69 %	1.24 %

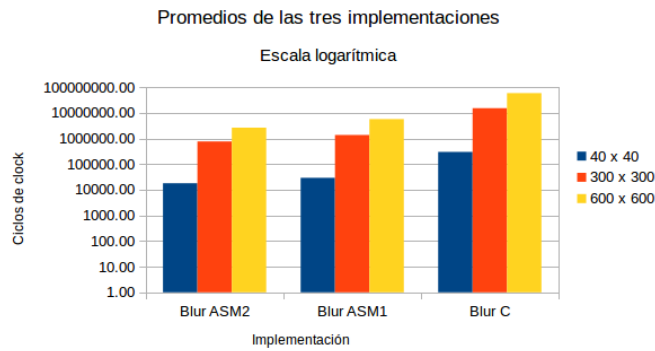
Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur ASM2	azul	17992.73	750119.40	3141036.87
Blur ASM2	blanco	18219.67	770902.67	3104900.00
Blur ASM2	mixto	17272	752688.88	3157686.11
Blur ASM2	negro	18470.50	776735.75	3127282.25
Blur ASM2	rojo	17351.25	732310.25	3165519.38
Blur ASM2	verde	17755.25	765754.75	3170724.75
Promedio		17843.57	758085.28	3144524.89
Desvio estándar		476.15	16296.47	25219.14
Porcentaje de desviación		2.67 %	2.15 %	0.80 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur C	azul	306557.40	14795203.80	59272448.00
Blur C	blanco	272834.33	15306523.00	57771410.67
Blur C	mixto	297517.11	14445272.00	57421879.56
Blur C	negro	331603.75	16997981.00	59230171.00
Blur C	rojo	286341.13	14904426.13	57154062.00
Blur C	verde	287608.75	14182027.25	58559933.00
Promedio		297077.08	15105238.86	58234984.04
Desvio estándar		20370.47	1004720.01	918341.11
Porcentaje de desviación		6.86 %	6.65 %	1.58 %

Finalmente, tomando los promedios para todos los tipos de imágenes para cada implementación y tamaño, logramos el siguiente gráfico que permite evaluar comparativamente la performance de las distintas implementaciones para los distintos tamaños.

Implementación	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur ASM1	17843.57	758085.28	2618274.34
Blur ASM2	28895.03	1363316.78	5635944.92
Blur C	297077.08	15105238.86	58234984.04

Para evaluar si había diferencias en imágenes de un color constante, realizamos los mismos experimentos en este set de caso de pruebas, compuesto con imágenes puramente verdes, azules, rojas, blancas y negras. A continuación, las tablas con resultados de estos experimentos, junto con el gráfico resultante.



Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur ASM1	Uniforme Blanca	25158.00	1415168.00	5707722.00
Blur ASM1	Uniforme Negra	25008.00	1417360.00	5821901.00
Blur ASM1	Uniforme Roja	23542.00	1429305.00	5522346.00
Blur ASM1	Uniforme Verde	24259.00	1424455.00	5663435.00
Blur ASM1	Uniforme Azul	23421.00	1384261.00	5752064.00
Promedio		24277.60	1414109.80	5693493.60
Desvio estándar		803.71	17610.73	112156.61
Porcentaje de desviación		3.31 %	1.25 %	1.97 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur ASM2	Uniforme Blanca	13297.00	769413.00	3180362.00
Blur ASM2	Uniforme Negra	15364.00	777099.00	3055456.00
Blur ASM2	Uniforme Roja	14031.00	776847.00	3132449.00
Blur ASM2	Uniforme Verde	16060.00	743686.00	3191171.00
Blur ASM2	Uniforme Azul	14278.00	778483.00	3159916.00
Promedio		14606.00	769105.60	3143870.80
Desvio estándar		1100.04	14645.90	54254.03
Porcentaje de desviación		7.53 %	1.90 %	1.73 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur C	Uniforme Blanca	306566.00	14236027.00	56984192.00
Blur C	Uniforme Negra	303997.00	14469139.00	56284032.00
Blur C	Uniforme Roja	300376.00	14622681.00	55996348.00
Blur C	Uniforme Verde	295486.00	14840694.00	56661072.00
Blur C	Uniforme Azul	300286.00	14917069.00	55887204.00
Promedio		301342.20	14617122.00	56362569.60
Desvio estándar		4203.58	277090.20	458742.02
Porcentaje de desviación		1.39 %	1.90 %	0.81 %

A partir de esta información, logramos la siguiente tabla que recopila los promedios y nos permite realizar un gráfico comparativo de implementaciones según tamaño.

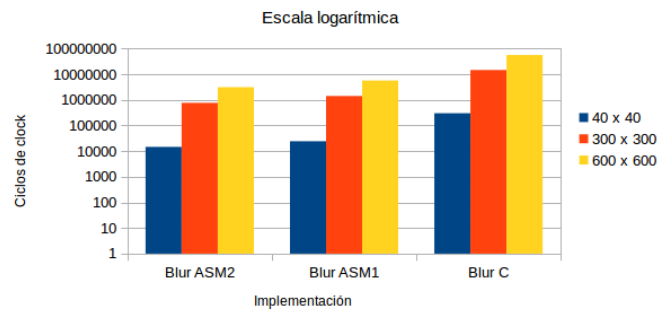
Implementación	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Blur ASM1	24277.6	1414109.8	5693493.6
Blur ASM2	14606	769105.6	3143870.8
Blur C	301342.2	14617122	56362569.6

2.5.1. Algunas conclusiones

Dentro de cada implementación, vemos que el tiempo de ejecución aumenta a medida que aumenta el tamaño de las imágenes de prueba, lo cual era exactamente lo esperado.

Así mismo, la implementación más performante resultó ser ASM2. Esto también era esperado, ya que, procesó mas de 1 pixel por iteración, y, en definitiva, realizó menos accesos a memoria. Este resultado no pareciera depender de la cantidad de instrucciones, dado que ambas implementaciones de Assembler poseen una cantidad muy similar de las ellas. También pudimos corroborar, que para este filtro, el tipo de imagen elegido no afectabó significativamente la performance de la implementación, ya que los porcentajes de desvío son pequeños, lo que indica que los promedios de las mediciones de los distintos tipos no se alejan de la media.

Promedios de las tres implementaciones



3. Merge

3.1. Introducción

Merge es un procedimiento en el cual se mezclan dos imágenes. Se reciben como inputs las imágenes a mergear, y luego se realiza un promedio ponderado (a partir de un valor recibido por parámetro) entre los píxeles de ambas imágenes, generando como salida una imagen que contiene el merge de las mismas.

La fórmula a partir de la cual se procesan los píxeles de las imágenes a mergear, sean estas A y B y donde *value* es el valor pasado por parámetro es:

$$A[j][i][k] = \text{value} * A[j][i][k] + (1-\text{value}) * B[j][i][k];$$

Donde *k* itera sobre las componentes del píxel, dejando inalterada la componente de transparencia.

3.2. Pseudocódigo en C

El pseudocódigo para una iteración del ciclo de la implementación que recibimos por parte de la cátedra es:

```
1 // sean A y B las dos imagenes pasadas por parametro y value un float recibido
  tambien como input.
2 for(ih=0; ih<(int)h; ih++) { //itero sobre la altura de la imagen
3   for(iw=0; iw<(int)w; iw++) { //itero sobre el ancho de la imagen
4     for(ii=1; ii<4; ii++) { //itero sobre los cuatro componentes RGBA del
        pixel
5       A[ih][iw][ii] = (value*(A[ih][iw][ii]) + (1.0-value)*(B[ih][iw][ii])); //
        proceso dicha componente de pixel.
6     }
7   }
8 }
```

De esta manera, lo que se hace es iterar por cada píxel de cada imagen y por cada una de sus componentes, realizando el cálculo correspondiente y guardando el resultado en una de las imágenes recibidas como input.

3.3. Implementación 1 en ASM

La primera implementación requiere realizar operaciones en punto flotante y procesar la mayor cantidad de píxeles posibles por iteración.

Como cada píxel mide 4B (1B por cada componente), en un registro XMM es posible procesar de a 4 a la vez. De esta forma, en cada iteración del ciclo tomamos 4 píxeles de cada imagen.

El procedimiento entonces será:

1. Tomar 4 píxeles de cada imagen.

Pa_3	Pa_2	Pa_1	Pa_0
Pb_3	Pb_2	Pb_1	Pb_0

Pa_i y Pb_i son los píxeles íesimos de las imagenes A y B.

2. Desempaquetar de byte a word y de word a dword.

0	Pa_{3a}	0	Pa_{3b}	0	Pa_{3c}	0	Pa_{3d}	0	Pa_{2a}	0	Pa_{2b}	0	Pa_{2c}	0	Pa_{2d}
0	Pa_{1a}	0	Pa_{1b}	0	Pa_{1c}	0	Pa_{1d}	0	Pa_{0a}	0	Pa_{0b}	0	Pa_{0c}	0	Pa_{0d}

En los dos registros anteriores quedan expresados las componentes de los 4 primeros píxeles tras ser desempaquetados de byte a word.

0	0	0	Pa_{3a}	0	0	0	Pa_{3b}	0	0	0	Pa_{3c}	0	0	0	Pa_{3d}
0	0	0	Pa_{2a}	0	0	0	Pa_{2b}	0	0	0	Pa_{2c}	0	0	0	Pa_{2d}
0	0	0	Pa_{1a}	0	0	0	Pa_{1b}	0	0	0	Pa_{1c}	0	0	0	Pa_{1d}
0	0	0	Pa_{0a}	0	0	0	Pa_{0b}	0	0	0	Pa_{0c}	0	0	0	Pa_{0d}

En estos últimos cuatro registros, quedan expresados en words las componentes de los 4 píxeles, donde Pa_{ij} representa al píxel i ésimo de la imagen A en su componente j , y j puede ser R,G,B o A.

Análogamente, se realiza el desempaquetado para los píxeles de la imagen B.

Primero de byte a word.

0	Pb_{3a}	0	Pb_{3b}	0	Pb_{3c}	0	Pb_{3d}	0	Pb_{2a}	0	Pb_{2b}	0	Pb_{2c}	0	Pb_{2d}
0	Pb_{1a}	0	Pb_{1b}	0	Pb_{1c}	0	Pb_{1d}	0	Pb_{0a}	0	Pb_{0b}	0	Pb_{0c}	0	Pb_{0d}

Luego de word a dword

0	0	0	Pb_{3a}	0	0	0	Pb_{3b}	0	0	0	Pb_{3c}	0	0	0	Pb_{3d}
0	0	0	Pb_{2a}	0	0	0	Pb_{2b}	0	0	0	Pb_{2c}	0	0	0	Pb_{2d}
0	0	0	Pb_{1a}	0	0	0	Pb_{1b}	0	0	0	Pb_{1c}	0	0	0	Pb_{1d}
0	0	0	Pb_{0a}	0	0	0	Pb_{0b}	0	0	0	Pb_{0c}	0	0	0	Pb_{0d}

- Convertir de dword int a double floating point cada uno de los componentes desempaquetados anteriormente (instrucción `cvt dq2ps`).
- Multiplicar los componentes de píxeles correspondientes a A por value (v). Para hacerlo, preparamos un registro que contiene cuatro dwords de valor v para poder realizar una multiplicación contra cada dword del registro.

0	0	0	$v * Pa_{3a}$	0	0	0	$v * Pa_{3b}$	0	0	0	$v * Pa_{3c}$	0	0	0	$v * Pa_{3d}$
0	0	0	$v * Pa_{2a}$	0	0	0	$v * Pa_{2b}$	0	0	0	$v * Pa_{2c}$	0	0	0	$v * Pa_{2d}$
0	0	0	$v * Pa_{1a}$	0	0	0	$v * Pa_{1b}$	0	0	0	$v * Pa_{1c}$	0	0	0	$v * Pa_{1d}$
0	0	0	$v * Pa_{0a}$	0	0	0	$v * Pa_{0b}$	0	0	0	$v * Pa_{0c}$	0	0	0	$v * Pa_{0d}$

Multiplicar los componentes de píxel correspondientes a B por $1-v$. Preparamos un registro con cuatro dwords de valor $1-v$ (como hicimos previamente) para poder multiplicar ambos registros y obtener como resultado lo siguiente:

0	0	0	$(1-v) * Pb_{3a}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{3b}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{3c}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{3d}$
0	0	0	$(1-v) * Pb_{2a}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{2b}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{2c}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{2d}$
0	0	0	$(1-v) * Pb_{1a}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{1b}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{1c}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{1d}$
0	0	0	$(1-v) * Pb_{0a}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{0b}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{0c}$	0	0	0	$(1-v) * Pb_{0d}$

- Sumar cada componente con su análogo.

0	0	0	$v * Pa_{3a} + (1-v) * Pb_{3a}$	0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	$v * Pa_{3d} + (1-v) * Pb_{3d}$
0	0	0	$v * Pa_{2a} + (1-v) * Pb_{2a}$	0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	$v * Pa_{2d} + (1-v) * Pb_{2d}$
0	0	0	$v * Pa_{1a} + (1-v) * Pb_{1a}$	0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	$v * Pa_{1d} + (1-v) * Pb_{1d}$
0	0	0	$v * Pa_{0a} + (1-v) * Pb_{0a}$	0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	$v * Pa_{0d} + (1-v) * Pb_{0d}$

- Convertir a enteros (instrucción `cvtps2dq`).
- Empaquetar de dword a word y de word a byte los registros en donde ahora se encuentra la suma entre los componentes de los píxeles de ambas imágenes.
- Almacenar los 4 píxeles ya procesados en la imagen recibida por parámetro que será la devuelta como resultado.
- Repetir.

3.4. Implementación 2 en ASM

Esta implementación, diferenciándose de la anterior, requiere realizar operaciones en enteros.

Para esto, como *value* es un valor en punto flotante y para multiplicar por este valor sería necesario convertir a punto flotante el componente a multiplicar, vamos a tener que multiplicarlo por un float "grande" (en este caso utilizamos el valor 32768.0). A continuación, convertimos este valor a entero. De esta forma, evitamos perder precisión al pasar de un valor en punto flotante a entero.

Con *value* siendo ahora un entero, vamos a realizar las mismas operaciones que para la primera implementación, con la única diferencia siendo que, tras multiplicar *value* por el componente de píxel, vamos a dividirlo por el mismo valor por el cual multiplicamos *value* inicialmente (para lo cual realizamos un shift a derecha de 15, en nuestro caso, utilizando la instrucción `psrad`).

Así, evitamos las conversiones que realizábamos en la implementación anterior, necesarias para operar en punto flotante.

3.5. Resultados

A continuación, detallamos los resultados obtenidos a través de la experimentación con las distintas implementaciones en C y Assembler para este filtro y las conclusiones a las que llegamos tras el estudio de los mismos.

Las tablas a continuación fueron confeccionadas según se detalla en la introducción, sin embargo, en el caso de este filtro, como había que testear una imagen 'mergeándose' con otras, tomamos la decisión de ejecutar el filtro con cada imagen del conjunto de casos de prueba en combinación, primero con la imagen uniforme blanca y luego con la imagen uniforme negra.

Un ejemplo de cómo sería el comando a ejecutar para correr los tests es el siguiente:

```
<ASM1/ASM2/C> merge image_1.bmp uniforme_blanca.bmp 0.5
<ASM1/ASM2/C> merge image_1.bmp uniforme_negra.bmp 0.5
```

Por último, cabe destacar que el porcentaje de desvío estándar para cada implementación de este filtro resultó ser

de:	Implementación	Porcentaje de Desvío Estándar
	Merge C	+/- 11 %
	Merge ASM1	+/- 17 %
	Merge ASM2	+/- 17,5 %

Estos porcentajes representan que, para cada medición de cantidad de ciclos de clock de ejecución de una implementación dada de este filtro, tras descartar el 10 % de las peores mediciones, y tomar el promedio entre el 90 % de las mediciones restantes, el error varía entre +/- dicho porcentaje. Por ejemplo, dada la ejecución siguiente:

```
c merge image_1_40x40.bmp uniforme_blanca.bmp salida.bmp 0.5
```

Sobre las 100 repeticiones realizadas, tras descartar el 10 % de las peores, quedan 90 mediciones sobre las cuales el promedio calculado fue 102116 con margen de error de +/-11 %.

Las siguientes son las tablas correspondientes a las distintas implementaciones del filtro, ejecutándolo con las imágenes del conjunto de prueba junto con la imagen uniforme blanca.

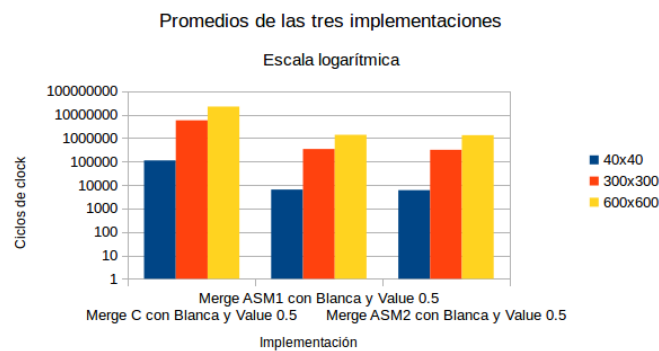
Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge C con Blanca y Value 0.5	azul	108956.53	5744137.80	21815171.20
Merge C con Blanca y Value 0.5	blanco	113162.33	5503827.00	21723532.67
Merge C con Blanca y Value 0.5	mixto	113276.56	5797665.33	21827024.89
Merge C con Blanca y Value 0.5	negro	102343.75	5683622.75	21817408.50
Merge C con Blanca y Value 0.5	rojo	113162.38	5661839.25	22029028.00
Merge C con Blanca y Value 0.5	verde	112579.00	5507224.75	21823809.50
Promedio		110580.09	5649719.48	21839329.12
Desvío estándar		4360.64	121398.91	100847.26
Porcentaje de desviación		3.94 %	2.15 %	0.46 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	azul	6690.87	339637.80	1366386.20
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	blanco	6387.00	338572.00	1337542.67
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	mixto	6269.00	342116.22	1404241.89
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	negro	6388.75	337522.00	1374249.25
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	rojo	5931.25	336302.13	1366750.38
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	verde	6230.75	340492.75	1398394.00
Promedio		6316.26	339107.14	1374594.06
Desvío estándar		248.34	2093.95	24278.58
Porcentaje de desviación		3.93 %	0.62 %	1.77 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	azul	6202.27	313975.87	1290590.64
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	blanco	5863.00	303397.33	1298461.00
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	mixto	6081.78	316077.56	1281457.11
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	negro	5873.25	308132.50	1311261.00
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	rojo	6280.13	314768.13	1326015.38
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	verde	5743.75	319673.75	1405824.25
Promedio		6007.36	312670.85	1318934.89
Desvio estándar		212.71	5887.99	45356.24
Porcentaje de desviación		3.54 %	1.88 %	3.44 %

A partir de las tablas anteriores, y tomando los promedios por tamaño, confeccionamos el siguiente gráfico que ilustra las diferencias en los tiempos de ejecución de cada implementación del filtro.

Implementación	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge C con Blanca y Value 0.5	110580.09	5649719.48	21839329.12
Merge ASM1 con Blanca y Value 0.5	6316.26	339107.14	1374594.06
Merge ASM2 con Blanca y Value 0.5	6007.36	312670.85	1318934.89



Las siguientes son las tablas correspondientes a la ejecución del filtro para cada una de todas las imágenes del conjunto de casos de prueba 'mergeadas' con la imagen uniforme negra.

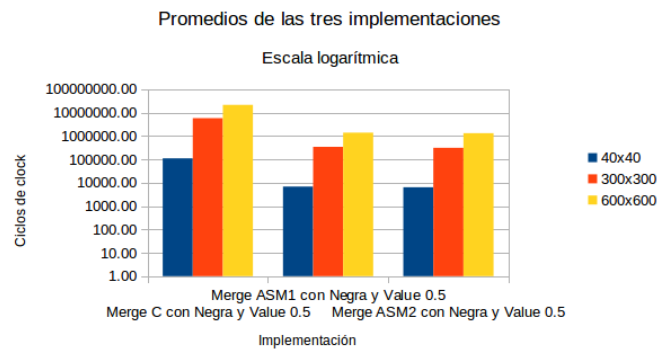
Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge C con Negra y Value 0.5	azul	112601.93	5639322.00	21469172.00
Merge C con Negra y Value 0.5	blanco	98544.67	5963986.00	21739485.33
Merge C con Negra y Value 0.5	mixto	111715.11	5427554.33	21890057.78
Merge C con Negra y Value 0.5	negro	121468.75	5994952.25	21164423.00
Merge C con Negra y Value 0.5	rojo	109971.00	5852953.63	21210556.00
Merge C con Negra y Value 0.5	verde	106222.00	5679551.50	20684177.00
Promedio		110087.24	5759719.95	21359645.19
Desvio estándar		7572.28	217719.09	436854.38
Porcentaje de desviación		6.88 %	3.78 %	2.05 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	azul	6670.00	339259.67	1370217.47
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	blanco	7953.00	335490.33	1379671.33
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	mixto	6369.33	341912.22	1356897.33
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	negro	6424.25	335257.00	1384766.75
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	rojo	7097.88	343915.63	1372561.50
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	verde	6359.50	345085.00	1389391.00
Promedio		6812.33	340153.31	1375584.23
Desvio estándar		625.27	4197.29	11651.52
Porcentaje de desviación		9.18 %	1.23 %	0.85 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	azul	5993.67	309772.60	1292696.93
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	blanco	6841.33	301941.67	1245065.00
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	mixto	6352.22	309041.00	1343273.56
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	negro	6628.00	320615.50	1338728.00
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	rojo	6009.38	305238.13	1357228.63
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	verde	6338.00	312857.75	1279955.25
Promedio		6360.43	309911.11	1309491.23
Desvio estándar		335.02	6471.35	43772.26
Porcentaje de desviación		5.27 %	2.09 %	3.34 %

Como en las secciones anteriores, tomando los promedios para cada tamaño, en cada implementación, podemos ilustrar la performance de las distintas implementaciones en el gráfico que sigue.

Implementación	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Merge C con Negra y Value 0.5	110087.24	5759719.95	21359645.19
Merge ASM1 con Negra y Value 0.5	6812.33	340153.31	1375584.23
Merge ASM2 con Negra y Value 0.5	6360.43	309911.11	1309491.23



3.5.1. Algunas conclusiones

Para este filtro, la implementación más rápida fue la ASM2.

Como en los otros filtros, el tamaño de la imagen es un factor que incide en los ciclos de clock que demora la ejecución de una implementación, siendo la evolución creciente.

No notamos que haya diferencias respecto de los tipos de imágenes utilizados, ya que para cada implementación, si miramos la fila que calcula los porcentajes de desvío estándar entre los distintos subgrupos de imágenes, veremos que los porcentajes son pequeños y de esta forma, ninguna implementación se desvía significativamente del promedio.

Tampoco notamos diferencias notables entre los casos de pruebas en los que se 'mergeó' con la imagen uniforme blanca, respecto de los que se 'mergeó' con la imagen uniforme negra. De este modo, el tipo de imagen a ser 'mergeada' tampoco parece ser el factor de incidencia en la performance de este filtro.

Si bien la diferencia de tiempo de ejecución de ASM1 y ASM2 no es marcada, como mencionamos anteriormente ASM2 resulta ser la implementación más performante. Lo que la diferencia de la otra implementación de Assembler es justamente que ASM2 realiza todas las operaciones en enteros y que no debe realizar las -costosas- operaciones de conversión a punto flotante y luego de punto flotante a enteros que realiza en cada iteración del ciclo ASM1. Dado que la cantidad de operaciones en ambas implementaciones es similar, creemos que las anteriores cuestiones son las determinantes para que ASM2 sea la implementación más rápida para este filtro.

4. HSL

4.1. Introducción

HSL es un filtro que consta de tres etapas:

1. **RGBtoHSL**: consiste en un cambio del espacio de color de los píxeles, desde RGB a HSL.
2. **Suma**: se procesan los píxeles sumándole valores pasados por parámetro a cada una de las componentes.
3. **RGBtoHSL**: se realiza la operación inversa a la de la primera etapa, es decir, el pasaje del espacio HSL a RGB.

El pseudocódigo de cada una de estas etapas es descripto en el enunciado del TP.

4.2. Implementación 1

En esta sección se pide realizar una implementación de la etapa de *Suma* en ASM y desde la misma llamar a las funciones en C para convertir entre RGB y HSL.

Como las funciones *RGBtoHSL* y *HSLtoRGB* procesan de a un píxel, es necesario iterar sobre cada píxel de la imagen para ir realizando las conversiones y procesándolos.

De esta forma, los pasos que se realizan en una iteración del ciclo son los siguientes:

1. Tomar un píxel de la imagen.
2. Llamar a la función *RGBtoHSL* de C.
3. Con el píxel ya transformado al espacio HSL, hay que realizar la operación de suma en sí. Esta se realiza de la siguiente manera:

Pseudocódigo de Suma

```
if( h+HH >= 360 ) h = h + HH - 360
else if( h+HH < 0 ) h = h + HH + 360
else
    h = h + HH
if( s+SS >= 1 ) s = 1
else if( s+SS < 0 ) s = 0
else
    s = s + SS
if( l+LL >= 1 ) l = 1
else if( l+LL < 0 ) l = 0
else
    l = l + LL
```

Para poder realizar estas operaciones, necesitamos armar un registro de que contenga cuatro dwords que tengan la siguiente forma:

$l + LL$	$s + SS$	$h + HH$	aa
----------	----------	----------	------

Donde h , s y l son las componentes del píxel HSL y HH , SS y LL los valores pasados como parámetros. El aa es el dword correspondiente al alfa, que va a quedar sin modificaciones.

Para realizar el registro mostrado anteriormente realizamos las siguientes operaciones:

```
1 movss xmm1, [posicion_de_memoria_donde_esta_LL] ;xmm1 = |00|00|00|LL|
2 pslldq xmm1, 12 ;xmm1 = |00|00|LL|00| - shift a izquierda
3 movss xmm2, [posicion_de_memoria_donde_esta_SS] ;xmm1 = |00|00|LL|SS|
4 pslldq xmm2, 8 ;xmm1 = |00|LL|SS|00| - shift a izquierda
5 movss xmm3, [posicion_de_memoria_donde_esta_HH] ;xmm1 = |00|LL|SS|HH|
6 pslldq xmm3, 4 ;xmm1 = |LL|SS|HH|aa| - shift a izquierda
```

Y luego, sumamos este registro al registro en donde tenemos a los tres componentes HSL de píxel. Llamaremos a este registro *origen* para claridad.

Estas operaciones debemos realizarlas en cada iteración del ciclo, porque tras el llamado a funciones de C, la convención no nos asegura que los registros XMM mantendrán sus valores.

Por último en este paso, vamos a armar las máscaras que necesitamos para realizar las operaciones del pseudocódigo que mostramos al principio de este punto.

Realizamos los siguientes defines:

```
comparar: dd 0.0, 360.0, 1.0, 1.0
vuelta_atras: dd 0.0, -360.0, 1.0, 1.0
vuelta_adelante: dd 0.0, 360.0, 0.0, 0.0
```

Y preparamos los siguientes registros:

```
1 ;traigo mascaras
2 movups xmm10, [comparar]
3 pxor xmm11, xmm11 ;llamaremos ceros a xmm11
4 movups xmm2, [vuelta_atras]
5 movups xmm3, [vuelta_adelante]
6
7 ;preparo datos con mascaras
8 pxor xmm5, xmm5
9 movlhps xmm5, xmm0 ;xmm5 = |h+HH|aa|00|00|
10 psrldq xmm5, 8 ;xmm5 = |00|00|h+HH|aa|
11 movups xmm6, xmm5 ;xmm6 = |00|00|h+HH|aa|
12 addps xmm5, xmm2 ;xmm5 = |1|1|h+HH-360|aa| - llamaremos
    resultadoTRUEif a xmm5
13 addps xmm6, xmm3 ;xmm6 = |0|0|h+HH+360|aa| - llamaremos
    resultadoFALSEif a xmm6
```

4. En el punto anterior preparamos todos los registros necesarios para finalmente en este punto, realizar la lógica de suma según el pseudocódigo visto.

Como las componentes están empaquetadas, debemos realizar las comparaciones simultáneamente. Para esto nos valemos de las máscaras que realizamos anteriormente. Para claridad al mostrar al código, reemplazaremos los registros efectivamente usados por los nombres de las etiquetas definidas en los defines y en los comentarios hechos anteriormente, donde armamos las máscaras necesarias.

```
1 //xmm0, xmm1, xmm7 y xmm8 son copias de origen.
2 ;if h+HH>=360 || s+SS>1 || l+LL>1
3 cmppps xmm0, comparar, 5 ;5 = greater equal
4 pand xmm0, resultadoTRUEif
5
6 ;if 0<=h+HH<360 || 0<=s+SS<1 || 0<=l+LL<1
7 cmppps xmm7, comparar, 1 ;1 = less than
8 cmppps xmm8, ceros, 5 ;5 = greater equal - ceros es un registro con ceros
    hecho con un pxor entre un registro XMM y si mismo.
9 pand xmm7, xmm8
10 pand xmm7, xmm1
11
12 ;if h+HH<0 || s+SS<0 || l+LL<0
13 cmppps xmm1, xmm11, 1 ;1 = less than
14 pand xmm1, resultadoFALSEif
15
16 ;sumo todos los valores con las mascaras aplicadas
17 por xmm0, xmm7
18 por xmm0, xmm1
```

En este punto tenemos en xmm0 el resultado para cada componente tras realizar las comparaciones indicadas por el pseudocódigo y asignar el valor indicado en cada caso.

5. Con el píxel ya modificado en todas sus componentes, ahora ya podemos pasarselo a la función **hslTOrgb** para volver a pasar al espacio RGB.
6. Finalmente, avanzamos un píxel y volvemos a iterar.

4.3. Implementación 2

La consigna en esta implementación es desarrollar todas las etapas del filtro en lenguaje ensamblador.

De esta manera, para la etapa de *Suma* se aprovechó la implementación anterior y se desarrollaron las dos etapas restantes. Es decir, ahora tendremos la conversión de RGB a HSL y de HSL a RGB en dos rutinas separadas, programadas en Assembler.

Al igual que en la primer implementación, se procesó de a un píxel por vez. Esto es debido a que como la etapa de suma es la misma que en la primer implementación, dicha etapa va convirtiendo de a un píxel así que se respetó esa forma de trabajo.

Nota 1: Para realizar todas las comparaciones, (los **ifs**) se uso la instrucción **cmp_{ps}**, la cual, dado un modo de comparación, aplica en el operando destino, una máscara con los valores resultantes de la comparación, grabando todas Fs si el resultado es *true* y todos 0s si el resultado es *false*

Nota 2: Para el cálculo de **fabs** lo que se hizo fue simplemente cambiar el valor del bit más significativo a 0, ya que en la representación de floats, ese es el bit que indica el signo del float; para realizar esto, se hizo AND bit a bit con una mascara que contenía todos 1s, excepto en el bit más significativo que tenía un 0.

Nota 3: Para el cálculo de **fmod** lo que se hizo fue aplicar el calculo de fmod, el cual es:

`fmod = numerador - tquot * denominador`
donde tquot es el resultado (truncado a 0) de numerador/denominador

Para realizar ese cálculo de hizo uso de las instrucciones **divss** y **roundss**.

Fuente: <http://www.cplusplus.com/reference/cmath/fmod/>

Para la **primer conversión (RGB to HSL)** se busca a mano el máximo y mínimo de las componentes. Una vez con dichos valores calculados, ya podemos comenzar a definir los valores de *H*, *S* y *L*.

También se obtuvo el valor de *d* via la resta del máximo menos el mínimo, necesario para el cálculo de *H* y *S*.

Cálculo de H

Para definir *H* se evaluaron los distintos casos posibles: donde la componente mínima era igual a la máxima, y donde la máxima era o bien igual a R, o bien igual a G o bien igual a B. En cada uno se realizó el proceso correspondiente indicado en el enunciado del trabajo, el cual dicta:

```
if( cmax == cmin ) h = 0
else if( cmax == r ) h = 60 * ((g-b)/d + 6)
else if( cmax == g ) h = 60 * ((b-r)/d + 2)
else if( cmax == b ) h = 60 * ((r-g)/d + 4)
```

```
if( h >= 360 ) h = h - 360
```

Cálculo de L

Luego para el calculo de *L*, se realizó la cuenta especificada en el enunciado:

```
l = ( cmax + cmin ) / 510
```

Cálculo de S

Y por último, para el valor de *S*, se realizó el siguiente chequeo y la asignación correspondiente, tal como dicta el enunciado:

```
if ( cmax == cmin )
    s = 0
else
    s = d / ( 1 - fabs( 2*l - 1 ) ) / 255.0001f;
```

Para la **segunda conversión** (*HSL to RGB*), primero se computó el valor de c , x y m . Para conseguir esas 3 variables, se realizaron los siguientes calculos dados en el enunciado del TP:

```
c = ( 1 - fabs( 2*1 - 1 )) * s;
x = c * ( 1 - fabs( fmod( h/60, 2 ) - 1 ) )
m = 1 - c / 2
```

El cálculo de **fabs** y **fmod** fueorn calculados como se describió en las notas 2 y 3 anteriores.

Luego, se procedió a realizar el cálculo de R , G y B , evaluando los siguientes 6 casos en donde h puede oscilar:

```
if( 0<=h && h<60 ) r=c b=x g=0
if( 60<=h && h<120 ) r=x b=c g=0
if( 120<=h && h<180 ) r=0 b=c g=x
if( 180<=h && h<240 ) r=0 b=x g=c
if( 240<=h && h<300 ) r=x b=0 g=c
if( 300<=h && h<360 ) r=c b=0 g=x
```

Para esto se uso la instrucción **cmpss** y algo de logica para hacer los distintos **ifs** necesarios tal como se declara en la **nota 1**.

Casi terminando, se hace el calculo de la escala, mediante las siguientes sumas y multiplicaciones:

```
r = (r+m) * 255
g = (g+m) * 255
b = (b+m) * 255
```

Para las mismas, se hizo uso de la instrucciones **addss** y **mulps**.

Finalmente, hacemos uso de la instrucción **cvtss2si** para convertir los valores de R , G y B a enteros.

Este último paso nos da finalmente los valores de RGB para devolver. (La componente de transparencia, no se tiene en cuenta para la explicación ya que no tiene lógica de procesado, simplemente se la transforma de float a entero y se devuelve.)

Estos mismos los cargamos en el puntero a *uint8_t* pasado por parámetro y se retorna a la rutina principal.

4.4. Resultados

A continuación, mostraremos algunos de los resultados y conclusiones a los cuales llegamos a través de la experimentación de las distintas implementaciones según la estretegia ideada para este fin, detallada en la introducción.

Tener en cuenta que el porcentaje de desvío estándar para cada implementación de este filtro resultó ser de:

Implementación	Porcentaje de Desvío Estándard
HSL C	+/- 3 %
HSL ASM1	+/- 6 %
HSL ASM2	+/- 5 %

Estos porcentajes representan que, para cada medición de cantidad de ciclos de clock de ejecución de una implementación dada de este filtro, tras descartar el 10 % de las peores mediciones, y tomar el promedio entre el 90 % de las mediciones restantes, el error varía entre +/- dicho porcentaje. Por ejemplo, dada la ejecución siguiente:

```
c hsl image_1_40x40.bmp salida.bmp 0.5 0.5 0.5
```

Sobre las 100 repeticiones realizadas, tras descartar el 10 % de las peores, quedan 90 mediciones sobre las cuales el promedio calculado fue 209670 con margen de error de +/-3%.

Las tablas a continuación representan, para cada implementación el promedio para las imágenes tendientes a un color determinado en cada uno de los distintos tamaños testeados. A su vez, en las últimas tres filas, se calcula el promedio general para dichos promedios, el desvío estandar entre ellos y el porcentaje de desvío.

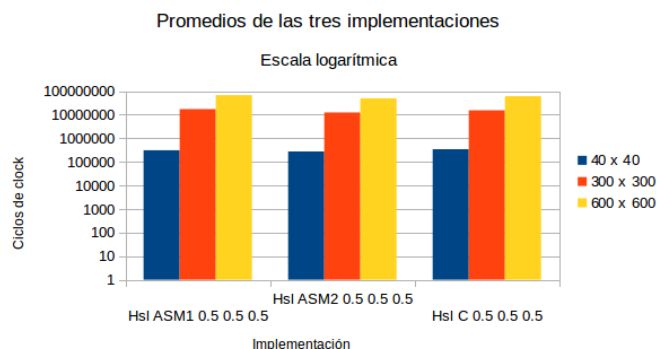
Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	azul	359764.53	18520763.60	72633855.47
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	blanco	310855.33	18855768.67	70170817.33
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	mixto	327535.44	18280896.22	72698313.33
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	negro	223275.25	12070519.50	49497420.00
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	rojo	329826.75	17855115.50	69956707.00
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	verde	315792.50	18595604.50	71852216.00
Promedio		311174.97	17363111.33	67801554.86
Desvio estándar		46312.60	2614695.00	9044740.65
Porcentaje de desviación		14.88 %	15.06 %	13.34 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	azul	284234.93	12611483.33	50635606.13
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	blanco	284863.67	13172857.33	50869777.33
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	mixto	282192.78	13088796.78	50706775.56
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	negro	233569.25	10897850.25	42586066.00
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	rojo	291041.13	12736569.25	51346788.00
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	verde	290393.00	12734652.00	51201397.00
Promedio		277715.79	12540368.16	49557735.00
Desvio estándar		21912.68	834263.75	3426661.92
Porcentaje de desviación		7.89 %	6.65 %	6.91 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl C 0.5 0.5 0.5	azul	365585.53	16842125.00	64348957.33
Hsl C 0.5 0.5 0.5	blanco	377779.67	16876860.00	64668644.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	mixto	334989.89	16393089.44	64292180.89
Hsl C 0.5 0.5 0.5	negro	276944.25	11694642.25	46741104.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	rojo	350354.38	15877406.88	62859643.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	verde	360322.75	15394790.00	63306250.00
Promedio		344329.41	15513152.26	61036129.87
Desvio estándar		36030.03	1955907.29	7037020.15
Porcentaje de desviación		10.46 %	12.61 %	11.53 %

A partir de éstas, confeccionamos la siguiente tabla que luego graficamos, utilizando escala logarítmica, para poder evaluar cómo era el rendimiento en promedio de las tres implementaciones en los distintos tamaños de imágenes.

Implementación	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	311174.96	17363111.33	67801554.85
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	277715.79	12540368.15	49557735.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	344329.41	15513152.26	61036129.87



A continuación, mostraremos las tablas correspondientes a las imágenes de tipo “color constante”, es decir, imágenes puramente rojas, verdes, azules, blancas y negras, que tratamos por separado para evaluar si registraban un comportamiento distinto.

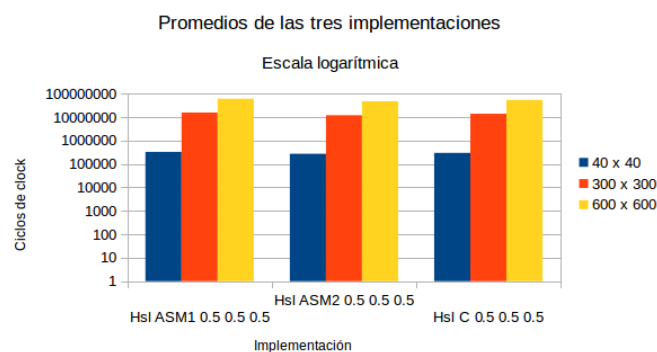
Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	Uniforme Blanca	231075.00	10941995.00	41332836.00
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	Uniforme Negra	233186.00	13472777.00	45535360.00
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	Uniforme Roja	419964.00	18202474.00	74076088.00
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	Uniforme Verde	392571.00	17789276.00	71168984.00
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	Uniforme Azul	359244.00	17842096.00	72150072.00
Promedio		327208.00	15649723.60	60852668.00
Desvio estándar		89420.35	3271181.78	16004376.86
Porcentaje de desviación		27.33 %	20.90 %	26.30 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	Uniforme Blanca	261370.00	11202093.00	41456304.00
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	Uniforme Negra	200118.00	10637117.00	40151872.00
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	Uniforme Roja	09031.00	13109446.00	53225056.00
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	Uniforme Verde	305518.00	12530113.00	51572832.00
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	Uniforme Azul	292952.00	12556929.00	50722960.00
Promedio		273797.80	12007139.60	47425804.80
Desvio estándar		45270.29	1038738.53	6128731.92
Porcentaje de desviación		16.53 %	8.65 %	12.92 %

Implementación	Color	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl C 0.5 0.5 0.5	Uniforme Blanca	204029.00	10340318.00	39518652.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	Uniforme Negra	233486.00	10644786.00	40521400.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	Uniforme Roja	356866.00	16543328.00	63436016.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	Uniforme Verde	354434.00	15911884.00	62773144.00
Hsl C 0.5 0.5 0.5	Uniforme Azul	343594.00	16214899.00	61588924.00
Promedio		298481.80	13931043.00	53567627.20
Desvio estándar		73688.97	3148672.47	12389971.63
Porcentaje de desviación		24.69 %	22.60 %	23.13 %

De manera análoga, tomando los promedios obtenidos, graficamos para poder comparar las performances de las implementaciones en estos casos.

Implementación	1600 píxeles	90000 píxeles	360000 píxeles
Hsl ASM1 0.5 0.5 0.5	327208	15649723.6	60852668
Hsl ASM2 0.5 0.5 0.5	273797.8	12007139.6	47425804.8
Hsl C 0.5 0.5 0.5	298481.8	13931043	53567627.2



4.4.1. Algunas conclusiones

Para HSL, la implementación más performante para los tres tamaños propuestos es ASM2, de la misma manera en que resultó ser para los otros filtros.

Dentro de cada implementación, como en los casos anteriores, los tiempos de ejecución evolucionan de manera creciente a medida que aumenta la cantidad de píxeles en las imágenes; totalmente esperable.

Sin embargo, y tomando como estrategia de medición respecto de las diferencias entre los distintos tipos de imágenes la misma que la detallada en la introducción, los porcentajes de desvío estándar es mayor que en los otros

filtros. Este resultado es en parte el esperado, ya que en esta implementación se toman acciones diferentes según el resultado que da sumar el color del píxel de la imagen al del parámetro recibido, entonces, es esperable que los tiempos de implementación divergieran en función de los distintos tipos de imágenes que tienden a distintos colores.

Sin tener en cuenta que las diferencias de performance en las distintas implementaciones de este ciclo se ven relacionadas con el uso de C o Assembler (en los distintos filtros se usa, o bien todo C, o bien mixto -implementación ASM1- o bien todo Assembler -en ASM2-), el punto anterior referente a la diferencia entre los tipos de imágenes es el más llamativo a la hora de evaluar la performance de las distintas implementaciones, a diferencia tal vez de los otros filtros implementados, en donde la desviación estándar en función de los tipos de imágenes era significativamente menor.