



**DEPARTAMENTO
DE COMPUTACION**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Trabajo Práctico II

Modelo de procesamiento SIMD

Organización del Computador II
Segundo Cuatrimestre de 2016

Grupo: El Arquitecto

Integrante	LU	Correo electrónico
Freidin, Gregorio	433/15	gregoriofreidin@gmail.com
Taboh, Sebastián	185/13	sebi_282@hotmail.com
Romero, Lucía Inés	272/15	luciainesromero@hotmail.com



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) 4576-3359

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

Índice

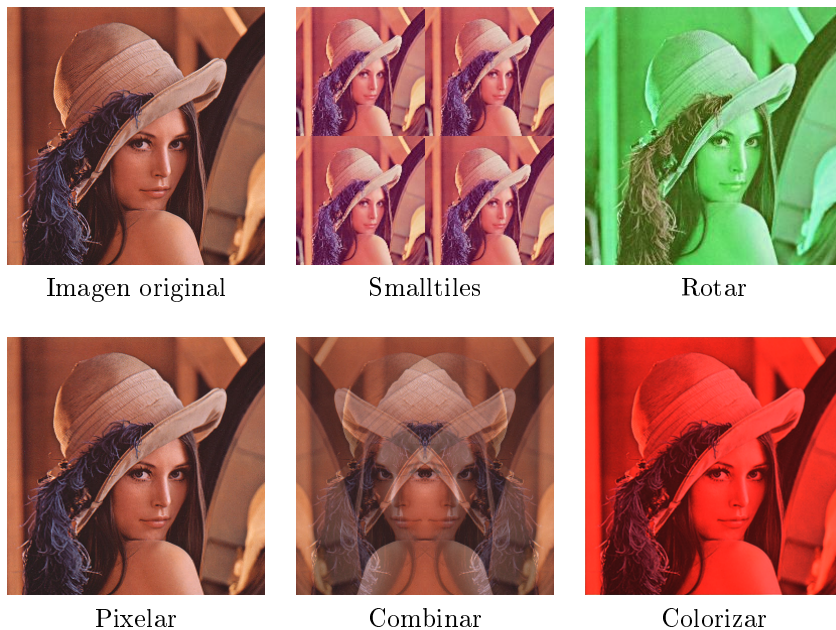
1. Introducción	3
2. Smalltiles	4
2.1. Código C	4
2.2. Código ASM	4
2.3. Experimentación	4
2.3.1. Idea	4
2.3.2. Hipótesis	4
2.3.3. Resultados	4
3. Rotar canales	6
3.1. Código C	6
3.2. Código ASM	6
3.3. Experimentación	6
3.3.1. Idea	6
3.3.2. Hipótesis	6
3.3.3. Resultados	7
4. Pixelar	8
4.1. Código C	8
4.2. Código ASM	8
4.3. Experimentación	9
4.3.1. Idea	9
4.3.2. Resultados	9
5. Combinar	10
5.1. Código C	11
5.2. Código ASM	11
5.3. Experimentación	13
5.3.1. Hipótesis	13
5.3.2. Idea	13
5.3.3. Resultados	14
6. Colorizar	16
6.1. Código C	16
6.2. Código ASM	16
6.3. Experimentación	17
6.3.1. Idea	17
6.3.2. Hipótesis	17
6.3.3. Resultados	18
6.3.4. Conclusión	18

1. Introducción

Este trabajo propone observar las diferencias en los tiempos de cómputo debidas al aprovechamiento del modelo de procesamiento SIMD con respecto a implementaciones en C.

Se implementaron diversos filtros de los cuales se expone una breve explicación a continuación y luego se detallan en sus respectivas secciones.

- **Smalltiles:** genera una imagen del mismo tamaño de la original que la contiene 4 veces, una en cada cuadrante.
- **Rotar canales:** intercambia los colores de modo que lo azul pasa a ser rojo, lo rojo, verde y lo verde, azul.
- **Pixelar:** como su nombre lo indica, pixela la imagen disminuyendo la definición.
- **Combinar:** consiste en combinar 2 imágenes en función de un parámetro.
- **Colorizar:** intensifica los colores predominantes en cada píxel.



Además de implementar los filtros en C y en Assembler se llevaron a cabo distintos experimentos para confirmar la hipótesis que motivó el trabajo, el hecho de que el procesamiento SIMD es más eficiente y permite resultados mucho más veloces que los obtenidos con las implementaciones de C.

2. Smalltiles

Este filtro consiste en replicar 4 veces la imagen original achicada. De esta manera, si enumeramos los píxeles a partir del 0, siempre estaremos utlizando los píxeles de número par de la imagen original para generar las 4 más pequeñas.

2.1. Código C

En el código de C recorreremos el equivalente a una de las 4 fotos pequeñas. En el píxel de la posición (i,j) guardamos el contenido del de la posición $(2*i,2*j)$ en la imagen original. A la vez cargamos este contenido en las otras 3 imagenes. A continuación mostramos el pseudocódigo de Smalltiles:

Algorithm 1 Smalltiles

```

function SMALLTILES(src: *unsigned char, dst: *unsigned char, cols: int, filas: int, srcRowSize: int, dstRowSize: int)
    unsigned char (*srcMatrix)[srcRowSize] = (unsigned char(*)[srcRowSize]) src
    unsigned char (*dstMatrix)[dstRowSize] = (unsigned char(*)[dstRowSize]) dst
    int ancho ← col/2
    int largo ← filas/2
    for f ← 0 .. largo - 1 do
        for c ← 0 .. ancho - 1 do
            bgrat * ps ← (bgrat*) & srcMatrix[f][c * 4]
            for i ← 0 .. 1 do
                bgrat * pd ← (bgrat*) & dstMatrix[f][(c + ancho * i) * 4]
                (pd → b) ← (ps → b)
                (pd → g) ← (ps → g)
                (pd → r) ← (ps → r)
                (pd → a) ← (ps → a)
            for i ← 0 .. 1 do
                bgrat * pd ← (bgrat*) & dstMatrix[f + largo][c * 4]
                (pd → b) ← (ps → b)
                (pd → g) ← (ps → g)
                (pd → r) ← (ps → r)
                (pd → a) ← (ps → a)

```

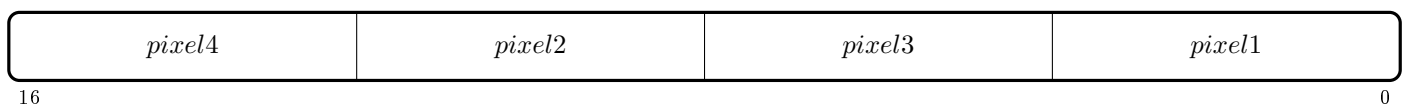
2.2. Código ASM

En la implementación de ASM recorreremos las filas de la imagen; tenemos dos ciclos, el interno recorre una fila iterando sobre sus columnas, y el externo itera sobre todas las filas de la imagen.

En el ciclo interno cargamos 8 píxeles, nos encargamos de ubicarlos en un registro xmmi a nuestra conveniencia utilizando **pshufd**, **psrldq**, **pslldq** y **paddb**.

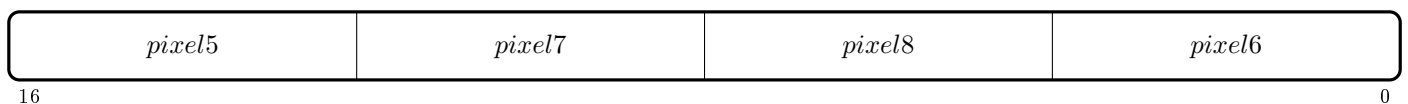
En un principio cargamos los primeros 4 píxeles en **xmm1** y luego **pshud xmm1, xmm1, 0xd8**.

xmm1:



Luego cargamos los siguientes 4 píxeles en **xmm10** y también **pshud xmm10,xmm10, 0xd8**.

xmm10:



Luego shifteamos convenientemente y sumamos los xmmi.

xmm10:

<i>pixel8</i>	<i>pixel6</i>	<i>pixel4</i>	<i>pixel2</i>
16			0

Ya tenemos en **xmm10** la información tal cual queremos guardarla, ahora simplemente la guardamos en memoria manipulando algunos índices para cargarla en los 4 cuadrantes de la imagen destino.

2.3. Experimentación

2.3.1. Idea

Nuestra implementación de ASM consiste en un ciclo que itera sobre las filas, por ende tuvimos la idea de experimentar sobre eso. Es decir, la cantidad de filas es un factor clave que influye bastante en la cantidad de ciclos de ejecución del filtro. Entonces nuestro experimento se basó en analizar los distintos tiempos de ejecución de imágenes con igual cantidad de píxeles totales, pero con distinto ancho y largo.

2.3.2. Hipótesis

Al comparar dos imágenes donde el ancho de una es la altura de la otra y viceversa, la aplicación del filtro a la imagen con menor altura tomaría menos ciclos. Cuanto más cercanos sean los valores de altura y ancho, menos varía la cantidad de ciclos.

2.3.3. Resultados

Efectivamente eso es lo que podemos observar en el siguiente gráfico. La cantidad de ciclos varía más en las imágenes de 200x1600 y 1600x200, donde podemos observar una diferencia de más de 4 millones de ciclos. En cambio en el par de imágenes de 640x500 y 500x640 la diferencia es de tan solo 1 millón y medio (exactamente 155981 ciclos). Estos experimentos se realizaron con la misma imagen rotada y sin rotar, aunque en el caso de este filtro, las cualidades de los píxeles no modifican los resultados.

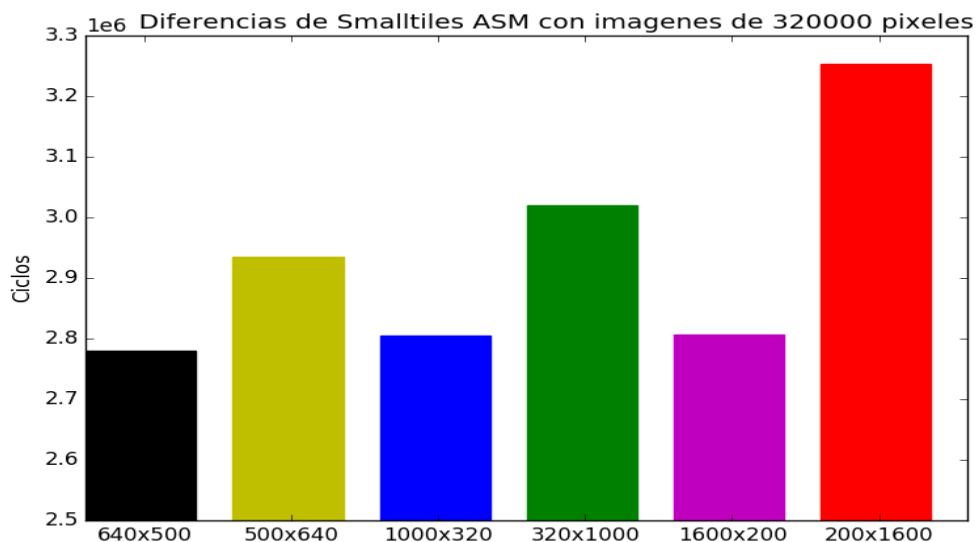


Figura 1: Gráfico de barras que da cuenta de los ciclos que implica cada corrida del filtro para imágenes de distintos tamaños con una determinada cantidad fija de píxeles.

A continuación adjuntamos el gráfico que compara la cantidad de ciclos que tarda en ejecutarse el filtro implementado en ASM y el implementado en C.

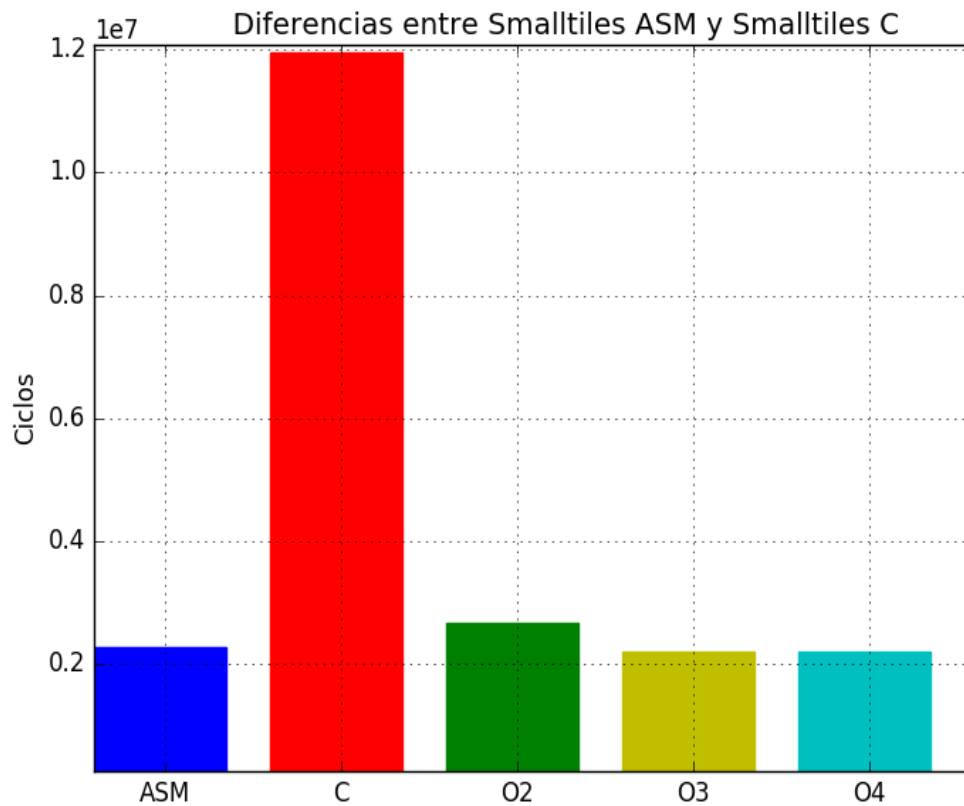


Figura 2: Comparación de las implementaciones y compilaciones con distintos niveles de optimización en cuanto a la rapidez para el procesamiento de una imagen.

3. Rotar canales

El filtro consiste en una rotación de canales en cada pixel, como bien indica su nombre. Y la rotación se da de esta manera:

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &\longrightarrow \mathbf{G} \\ \mathbf{G} &\longrightarrow \mathbf{B} \\ \mathbf{B} &\longrightarrow \mathbf{R} \end{aligned}$$

3.1. Código C

En el código de C recorreremos la matriz iterando sus filas y columnas y modificando un pixel a la vez. A continuación presentamos su pseudocódigo

Algorithm 2 Rotar

```
function ROTAR(src: *unsigned char, dst: *unsigned char, cols: int, filas: int, srcRowSize: int, dstRowSize: int)
    unsigned char (*srcMatrix)[srcRowSize] = (unsigned char(*)[srcRowSize]) src
    unsigned char (*dstMatrix)[dstRowSize] = (unsigned char(*)[dstRowSize]) dst
    for f ← 0 .. filas − 1 do
        for c ← 0 .. cols − 1 do
            bgrat * ps ← (bgrat*) & srcMatrix[f][c * 4]
            bgrat * pd ← (bgrat*) & dstMatrix[f][c * 4]
            pd → b ← ps → g
            pd → g ← ps → r
            pd → r ← ps → b
            pd → a ← ps → a
```

3.2. Código ASM

El código de ASM recorre la matriz de la misma manera que la recorre el código de C, pero procesa 4 pixeles por iteración. Las instrucciones propias de SIMD aceleran mucho el proceso y aportan mejoras considerables incluso al compararlo con un código de ASM sin utilizarlas.

En cada ciclo se cargan 4 pixeles en xmm0 y se aplica **pshufb xmm0, xmm3**, donde este es:

0f	0c	0e	0d	0b	08	0a	09	07	04	06	05	03	00	02	01
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

16

0

Luego se guarda en memoria en la imagen destino, se incrementa el contador en 4 (procesamos 4 píxeles) y los respectivos punteros a las imagenes en 16 (4 píxeles ocupan 16 bytes).

3.3. Experimentación

3.3.1. Idea

Para la experimentación con Rotar notamos la facilidad con la que se codea y procesa el filtro gracias a las instrucciones de SIMD, por ello quisimos ver si, además, generaban alguna optimización sobre un código sin estas herramientas. Luego comparamos la eficiencia de ASM contra el código de C y distintas optimizaciones de este.

3.3.2. Hipótesis

La hipótesis que tuvimos sobre la primera idea era que efectivamente íbamos a notar un cambio ya que íbamos a estar procesando la mitad de pixeles por iteración. También suponíamos que iba a ser más complicado manipular los píxeles al no contar con instrucciones como **shuffle**, **unpacked**, **psrlx** y **psllx**.

3.3.3. Resultados

Efectivamente vimos una notoria diferencia entre el código en ASM con y sin SIMD, más aún, el código optimizado de C es más eficiente que éste último. A continuación adjuntamos un gráfico en el que se puede apreciar dicha diferencia.

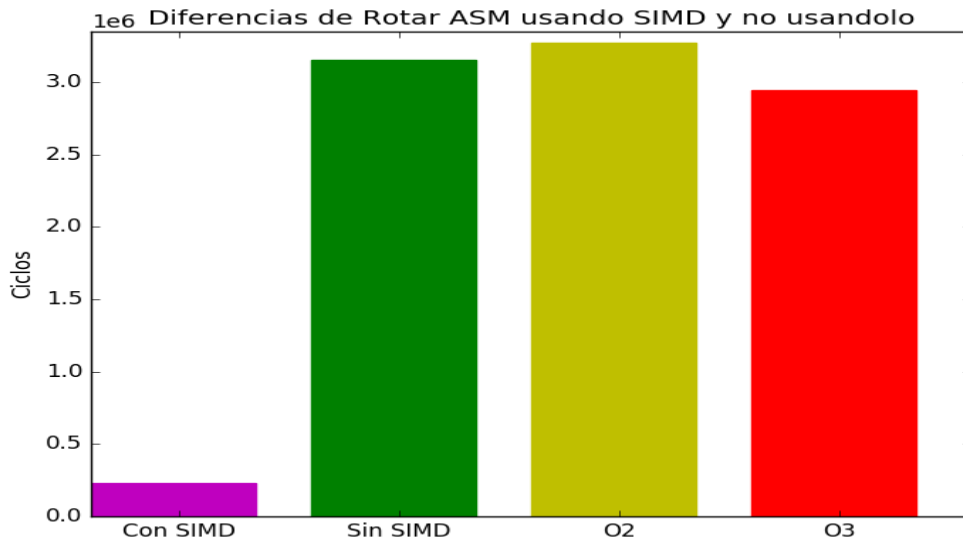


Figura 3: Gráfico que compara las velocidades de las ejecuciones de las implementaciones con y sin el uso de instrucciones SSE, y también con optimizaciones de la implementación en C.

El gráfico se armó en base a un conjunto de corridas de cada implementación del filtro, de donde se tomó la cantidad mínima de ciclos; con esto buscamos reducir la proporción de tiempo que consideramos que nuestro programa no estaba corriendo, si no que el scheduler estaba ejecutando otro programa.

A continuación mostramos un gráfico (armado de igual manera que el anterior) donde mostramos los tiempos de ejecución del filtro implementado en ASM y en C con distintas optimizaciones.

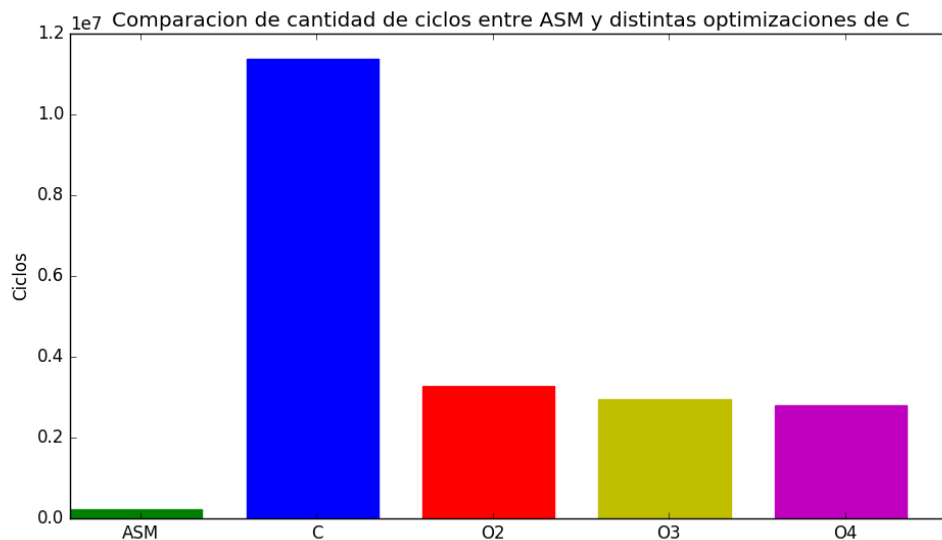


Figura 4: Diferencias en cantidad de ciclos para la ejecución del filtro con la implementación en ASM y la de C con sus optimizaciones.

4. Pixelar

Este filtro consiste en tomar bloques de 2x2 píxeles y asignarles a estos el promedio del bloque. De esta manera se disminuye la calidad de la imagen.

4.1. Código C

El código de C consiste en recorrer la imagen de a dos filas y dos columnas por iteración. En cada iteración se calcula el promedio de los canales de los píxeles. A continuación adjuntamos el pseudocódigo.

Algorithm 3 Promedio

```
function PROMEDIO(a : unsigned char, b : unsigned char, c : unsigned char, d : unsigned char)
→ float
    float af ← a
    float bf ← b
    float cf ← c
    float df ← d
    return (af/4 + bf/4 + cf/4 + df/4)
```

Algorithm 4 Pixelar

```
function PIXELAR(src: *unsigned char, dst: *unsigned char, cols: int, filas: int, srcRowSize: int, dstRowSize:
int)
    unsigned char (*srcMatrix)[srcRowSize] = (unsigned char(*)[srcRowSize]) src
    unsigned char (*dstMatrix)[dstRowSize] = (unsigned char(*)[dstRowSize]) dst
    for f ← 0 .. filas - 1; f += 2 do
        for c ← 0 .. cols - 1; c += 2 do
            bgrat * ps1 ← (bgrat*) & srcMatrix[f][c * 4]
            bgrat * pd1 ← (bgrat*) & dstMatrix[f][c * 4]
            bgrat * ps2 ← (bgrat*) & srcMatrix[f + 1][c * 4]
            bgrat * pd2 ← (bgrat*) & dstMatrix[f + 1][c * 4]
            bgrat * ps3 ← (bgrat*) & srcMatrix[f + 1][(c + 1) * 4]
            bgrat * pd3 ← (bgrat*) & dstMatrix[f + 1][(c + 1) * 4]
            bgrat * ps4 ← (bgrat*) & srcMatrix[f][(c + 1) * 4]
            bgrat * pd4 ← (bgrat*) & dstMatrix[f][(c + 1) * 4]
            k ← 0.5
            b ← PROMEDIO(ps → b, ps2 → b, ps3 → b, ps4 → b)
            g ← PROMEDIO(ps → g, ps2 → g, ps3 → g, ps4 → g)
            r ← PROMEDIO(ps → r, ps2 → r, ps3 → r, ps4 → r)
            a ← PROMEDIO(ps → a, ps2 → a, ps3 → a, ps4 → a)
            for i ← 1 .. 4 do
                (pdi → b) ← b
                (pdi → g) ← g
                (pdi → r) ← r
                (pdi → a) ← a
```

4.2. Código ASM

El código en ASM consiste en una conjunción de ciclos, uno exterior para iterar sobre las filas y otro interior para iterar sobre los elementos de la misma (columnas). Lo que hace este código es en cada iteración, lee de memoria dos veces, empezando en la misma columna pero de dos filas diferentes. De esta forma levanta como una matriz de 8 elementos (4x2). Lo que se puede obtener de esta información va a servir para sobre escribir 8 píxeles.

El ciclo luego procede en extender los signos de cada byte, luego guardar la sumatoria de los elementos 1,2,6,7 (mirándolo como una matriz de 4x2), y la sumatoria de 4,5,8,9 en dos registros aparte, calcular el promedio de

esto, osea dividirlos por cuatro. Y luego a esta informacion la volvemos a agrupar juntas en un mismo registro que se veria de esta manera :

XMM:

$Pp1_a$	$Pp1_r$	$Pp1_g$	$Pp1_b$	$Pp1_a$	$Pp1_r$	$Pp1_g$	$Pp1_b$	$Pp2_a$	$Pp2_r$	$Pp2_g$	$Pp2_b$	$Pp2_a$	$Pp2_r$	$Pp2_e$	$Pp2_b$
---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

16

0

Pp1 : promedio pixeles 1,2,6,7. Pp2 : promedio pixeles 4,5,8,9

Y finalmente a este registro lo escribimos en la imagen destino, en los lugar de los cual levantamos en la imagen src.

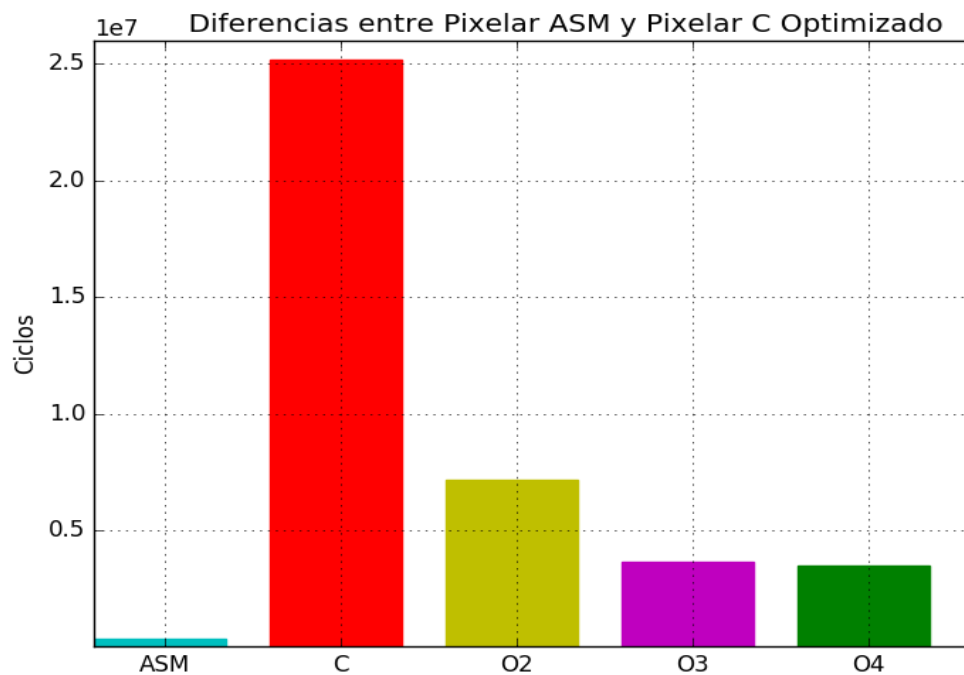
Por ultimo movemos los current en columnas 4 pixeles que es la cantidad sobre esa fila q procesamos en cada iteracion. Y si terminamos de procesar la fila, nos movemos dos filas, ya que vamos procesando dos juntas a la vez.

4.3. Experimentación

4.3.1. Idea

Comparamos la eficacia del código en ASM contra C y C optimizado.

4.3.2. Resultados



5. Combinar

Este filtro consiste en realizar una combinación de dos imágenes que dependa de un número real α entre 0 y 255.

Cabe destacar que este filtro permite reutilizar cálculos debido a dos factores. Uno de ellos es la forma que tiene cada píxel generado en la imagen resultante, que consiste en que si se tienen una imagen A y una imagen B de tamaño $m \times n$ entonces el píxel de la imagen generada $I_{AB}^{i,j}$ se calcula de la siguiente forma:

$$I_{AB}^{i,j} = \frac{\alpha * (I_A^{i,j} - I_B^{i,j})}{255,0} + I_B^{i,j}$$

El otro factor es que nuestro filtro está optimizado para casos en los que la imagen B es el reflejo vertical de la imagen A . Es decir que se da que $I_A^{i,j} = I_B^{i,n-j+1}$ como se puede apreciar en la siguiente figura.

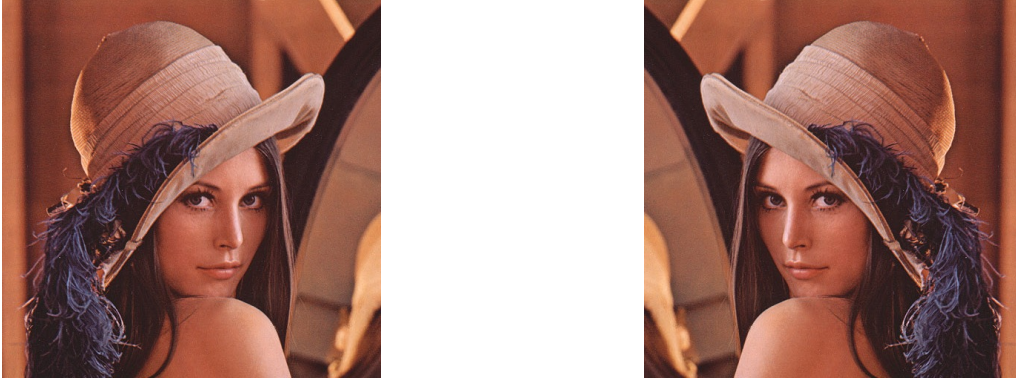


Figura 5: Se muestra la imagen A del lado izquierdo con la imagen B , el reflejo vertical de A , en la parte derecha.

Entonces se tiene que

$$\begin{aligned} I_{AB}^{i,j} &= \frac{\alpha * (I_A^{i,j} - I_B^{i,j})}{255,0} + I_B^{i,j} \text{ por la fórmula del filtro} \\ &= \frac{\alpha * (I_A^{i,j} - I_A^{i,n-j+1})}{255,0} + I_A^{i,n-j+1} \text{ dado que } I_A^{i,j} = I_B^{i,n-j+1} \end{aligned} \quad (1)$$

y análogamente

$$\begin{aligned} I_{AB}^{i,n-j+1} &= \frac{\alpha * (I_A^{i,n-j+1} - I_B^{i,n-j+1})}{255,0} + I_B^{i,n-j+1} \\ &= \frac{\alpha * (I_A^{i,n-j+1} - I_A^{i,j})}{255,0} + I_A^{i,j} \end{aligned} \quad (2)$$

Así, se obtiene

$$\begin{aligned} I_{AB}^{i,n-j+1} &= -1 * \frac{\alpha * [-1 * (I_A^{i,n-j+1} - I_A^{i,j})]}{255,0} - I_A^{i,n-j+1} + I_A^{i,n-j+1} + I_A^{i,j} \\ &= -1 * \left[\frac{\alpha * (I_A^{i,j} - I_A^{i,n-j+1})}{255,0} + I_A^{i,n-j+1} \right] + I_A^{i,n-j+1} + I_A^{i,j} \\ &= -1 * (I_{AB}^{i,j} - I_A^{i,n-j+1}) + I_A^{i,j} \text{ usando la igualdad de (2)} \end{aligned} \quad (3)$$

Estos cálculos muestran que luego de hacer el procesamiento para generar un píxel de la parte izquierda de la imagen resultante se puede obtener el píxel que corresponde a la mitad derecha con pocos cálculos más. Más aún, si se denomina

$$P = \frac{\alpha * (I_A^{i,j} - I_A^{i,n-j+1})}{255,0}$$

se consigue

$$I_{AB}^{i,j} = P + I_A^{i,n-j+1}$$

y

$$I_{AB}^{i,n-j+1} = -P + I_A^{i,j}$$

dando lugar a menos cálculos necesarios.

5.1. Código C

A continuación se presenta el pseudocódigo detallado del filtro.

Clamp es una función que controla la saturación.

Algorithm 5 Clamp

```

function CLAMP(pixel : float) → float
  if pixel < 0,0 then
    return 0,0
  else
    if pixel > 255,0 then
      return 255,0
    else
      return pixel

```

Combine realiza los cálculos correspondientes determinados por el filtro.

Algorithm 6 Combine

```

function COMBINE(a : unsigned char, b : unsigned char,  $\alpha$  : float) → float
  float af ← a
  float bf ← b
  return  $\frac{\alpha * (af - bf)}{255,0} + bf$ 

```

Combinar llama a las dos funciones ya explicadas y obtiene 2 píxeles con los que operar para luego dejar el resultado en la imagen destino.

Algorithm 7 Combinar

```

function COMBINAR(src: *unsigned char, dst: *unsigned char, cols: int, filas: int, srcRowSize: int, dstRowSize: int,  $\alpha$ : float)
  unsigned char (*srcMatrix)[srcRowSize] = (unsigned char(*)[srcRowSize]) src
  unsigned char (*dstMatrix)[dstRowSize] = (unsigned char(*)[dstRowSize]) dst
  for f ← 0 .. filas - 1 do
    for c ← 0 .. cols - 1 do
      bgrat * psa ← (bgrat*) & srcMatrix[f][c * 4]
      bgrat * psb ← (bgrat*) & srcMatrix[f][(cols - c - 1) * 4]
      bgrat * pd ← (bgrat*) & dstMatrix[f][c * 4]
      pd->b ← CLAMP(COMBINE(psa->b, psb->b,  $\alpha$ ))
      pd->g ← CLAMP(COMBINE(psa->g, psb->g,  $\alpha$ ))
      pd->r ← CLAMP(COMBINE(psa->r, psb->r,  $\alpha$ ))
      pd->a ← CLAMP(COMBINE(psa->a, psb->a,  $\alpha$ ))

```

5.2. Código ASM

Dado que cada píxel tiene 4 bytes y los registros XMM tienen 16 bytes, se levantan 4 píxeles contiguos desde la posición i, j y otros 4 píxeles desde la $i, n - j + 1$ en otro registro.

Se mostrará cómo se genera el píxel $I_{i,j}$ de la imagen resultante.

Se levantan 4 píxeles de la mitad izquierda en el registro XMM1:

XMM1:

A_{j+3}	R_{j+3}	G_{j+3}	B_{j+3}	A_{j+2}	R_{j+2}	G_{j+2}	B_{j+2}	A_{j+1}	R_{j+1}	G_{j+1}	B_{j+1}	A_j	R_j	G_j	B_j
16															
0															

y 4 en espejo de la mitad derecha en XMM3:

XMM3:

A_{n-j+4}	R_{n-j+4}	G_{n-j+4}	B_{n-j+4}	A_{n-j+3}	R_{n-j+3}	G_{n-j+3}	B_{n-j+3}	A_{n-j+2}	R_{n-j+2}	G_{n-j+2}	B_{n-j+2}	A_{n-j+1}	R_{n-j+1}	G_{n-j+1}	B_{n-j+1}
16															
0															

Teniendo

XMM9:

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16															
0															

se ejecuta la instrucción **punpcklbw xmm1, xmm9** que da como resultado

XMM1:

0	A_{j+1}	0	R_{j+1}	0	G_{j+1}	0	B_{j+1}	0	A_j	0	R_j	0	G_j	0	B_j
16															
0															

y luego **punpcklwd xmm1, xmm9** para seguir desempaquetando. De esta forma quedan 4 bytes para cada componente del píxel y se podrán convertir a floats para mayor precisión en los cálculos que implican el α .

XMM1:

0	0	0	A_j	0	0	0	R_j	0	0	0	G_j	0	0	0	B_j
16															
0															

Se copió el contenido de XMM1 a XMM10 y con el registro que contenía al píxel $n - j + 4$, obtenido de forma análoga a como se obtuvo el píxel j

XMM8:

0	0	0	A_{n-j+4}	0	0	0	R_{n-j+4}	0	0	0	G_{n-j+4}	0	0	0	B_{n-j+4}
16															
0															

se realizaron las restas entre componentes (**psubd xmm10, xmm8**) antes de convertir a float el registro XMM10 (**cvtdq2ps xmm10, xmm10**) dado que realizar la resta con float es una operación mucho más costosa que con enteros y además no había chances de perder precisión con la resta.

XMM10:

$A_j - A_{n-j+4}$	$R_j - R_{n-j+4}$	$G_j - G_{n-j+4}$	$B_j - B_{n-j+4}$
16			
0			

Se multiplicó por α al registro XMM10 (**mulps xmm10, xmm0**) y luego se dividió por 255,0 (**divps xmm10, xmm14**) obteniéndose

XMM10:

$\frac{\alpha * (A_j - A_{n-j+4})}{255,0}$	$\frac{\alpha * (R_j - R_{n-j+4})}{255,0}$	$\frac{\alpha * (G_j - G_{n-j+4})}{255,0}$	$\frac{\alpha * (B_j - B_{n-j+4})}{255,0}$
16			
0			

Para esto previamente, fuera del ciclo, se había movido el α que había llegado en los últimos 4 bytes de XMM0 a las otras 3 double words del registro con la instrucción **pshufd xmm0, xmm0, 00000000b** y se había puesto en XMM14 un 255.0 en cada double word declarando **mascara255: dd 255.0, 255.0, 255.0, 255.0** en **section .rodata** y luego haciendo **movdqu xmm14, [mascara255]**. De esta forma, al realizar estas operaciones fuera del ciclo, se minimizan los accesos a memoria y se evita repetir operaciones innecesarias.

Convirtiendo XMM8 a float con **cvtqd2ps xmm8, xmm8** y sumándolo a XMM10 con **addps xmm10, xmm8** se obtuvo

XMM10:

$\frac{\alpha * (A_j - A_{n-j+4})}{255,0} + A_{n-j+4}$	$\frac{\alpha * (R_j - R_{n-j+4})}{255,0} + R_{n-j+4}$	$\frac{\alpha * (G_j - G_{n-j+4})}{255,0} + G_{n-j+4}$	$\frac{\alpha * (B_j - B_{n-j+4})}{255,0} + B_{n-j+4}$
16			0

Antes de finalizar el procesamiento, se realizó **movups xmm15, xmm10** y **subps xmm15, xmm8** para conservar en XMM15 lo que en el desarrollo de cuentas apareció como P al explicar cómo se podían reutilizar cálculos.

Por último en el procesamiento de la parte izquierda se convirtió a entero XMM10 con **cvtps2dq xmm10, xmm10** y se empaquetó con los resultados de los demás píxeles usando instrucciones como **packusdw xmm11, xmm10** y **packusdw xmm13, xmm12** para pasar de double word a word,

XMM11:

F_{A_j}	F_{R_j}	F_{G_j}	F_{B_j}	$F_{A_{j+1}}$	$F_{R_{j+1}}$	$F_{G_{j+1}}$	$F_{B_{j+1}}$
16							0

luego **packuswb xmm13, xmm11** para pasar de word a byte,

XMM11:

F_{A_j}	F_{R_j}	F_{G_j}	F_{B_j}	$F_{A_{j+1}}$	$F_{R_{j+1}}$	$F_{G_{j+1}}$	$F_{B_{j+1}}$	$F_{A_{j+2}}$	$F_{R_{j+2}}$	$F_{G_{j+2}}$	$F_{B_{j+2}}$	$F_{A_{j+3}}$	$F_{R_{j+3}}$	$F_{G_{j+3}}$	$F_{B_{j+3}}$	
16																0

y finalmente **pshufd xmm11, xmm13, 0x1b** quedando todo listo para mover el contenido del registro a donde correspondiera.

XMM11:

$F_{A_{j+3}}$	$F_{R_{j+3}}$	$F_{G_{j+3}}$	$F_{B_{j+3}}$	$F_{A_{j+2}}$	$F_{R_{j+2}}$	$F_{G_{j+2}}$	$F_{B_{j+2}}$	$F_{A_{j+1}}$	$F_{R_{j+1}}$	$F_{G_{j+1}}$	$F_{B_{j+1}}$	F_{A_j}	F_{R_j}	F_{G_j}	F_{B_j}	
16																0

Para finalizar la parte derecha se multiplicaron todos los valores de las double words de XMM15 por -1 (**mulps xmm15, [menos1]** estando **menos1** definido en **rodata** como **menos1: dd -1.0, -1.0, -1.0, -1.0**) y se prosiguió con las conversiones y sumas como anteriormente.

5.3. Experimentación

5.3.1. Hipótesis

Nuestra hipótesis era que la implementación en ASM iba a ser mucho más veloz que la de C con el menor nivel de optimización al compilar e incluso que las de C con mayores niveles de optimización.

Además creíamos que las ejecuciones con la implementación de C iban a presentar un porcentaje de ciclos de clock debidos accesos a memoria mucho mayor que la implementación de ASM.

5.3.2. Idea

Como forma de verificar esto pensamos medir la cantidad de ciclos de clock insumidos en cada caso para la ejecución del filtro. Se realizaron 1000 mediciones y se realizó un gráfico de barras con los promedios obtenidos de dividir cada total de ciclos por la cantidad de iteraciones.

Por otro lado, se midieron los ciclos de clock relacionados a accesos a memoria con la implementación de ASM y con la de C y se realizaron gráficos de torta para mostrar los porcentajes con respecto al total de ciclos insumidos.

5.3.3. Resultados

En cuanto a las cantidades totales de ciclos de clock se obtuvo el siguiente gráfico.

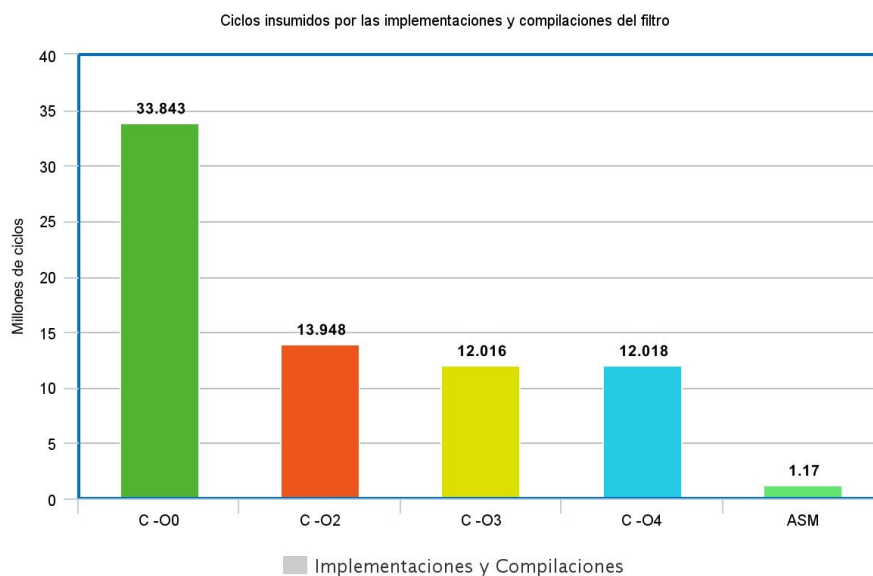


Figura 6: Gráfico de barras comparando las implementaciones y diversas optimizaciones.

Como se puede apreciar, la implementación de ASM es casi 29 veces más rápida que la menos optimizada de C y también supera ampliamente a las optimizadas, siendo más de 10 veces más rápida. Esto confirma nuestras suposiciones de la mejoría resultante del modelo de procesamiento SIMD.

Con respecto a lo planteado en cuanto a los accesos a memoria, también obtuvimos resultados esperados, visibles en la siguiente figura.

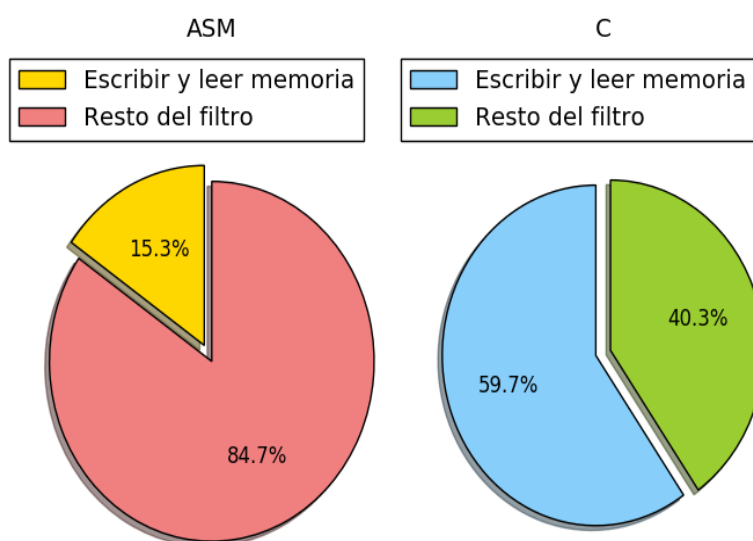


Figura 7: En estos gráficos se exponen las diferencias en las implementaciones en cuanto a la proporción de tiempo destinado a accesos a memoria y a procesamiento de la imagen.

A simple vista se observa que la implementación de ASM da como resultado que la mayor parte del tiempo de ejecución esté destinada al procesamiento de la imagen, al contrario de lo que ocurre con la implementación de C que resulta en un mayor consumo de ciclos por parte de los accesos a memoria.

Más aún, el cociente entre el procesamiento de píxeles y los accesos a memoria para la implementación de ASM da 5,5, es decir que cada 13 ciclos, 11 surgen del procesamiento y 2 de los accesos. En cambio, este cociente es 0,68 para la implementación en C, de modo que la diferencia entre ambas implementaciones en cuanto al uso de la memoria y del procesador es muy significativa.

6. Colorizar

6.1. Código C

El código C se trata de una conjunción de ciclos, el exterior que recorre desde la segunda fila hasta la ante última, y el interior que recorre desde la segunda columna hasta la última, dejando afuera a todos los bordes, tal como el enunciado pedía.

Luego en cada iteración del ciclo interior, que es donde se hacen las operaciones que modifican la imagen, lo que hacemos es crear un arreglo de unsigned chars, res", que es donde guardamos los máximos de cada canal en comparación a todos los píxeles lindantes del píxel en el cual estemos parados (una matriz de 3x3).

- Res [0] ← MaximoLindantesAzul
- Res [1] ← MaximoLindantesVerde
- Res [2] ← MaximoLindantesRojo

Luego con estos tres valores calculamos el alpha correspondiente de cada canal por el cual vamos a multiplicar a cada uno. Y por último reescribimos el píxel final, en la imagen src con cada canal multiplicado por dicho alpha.

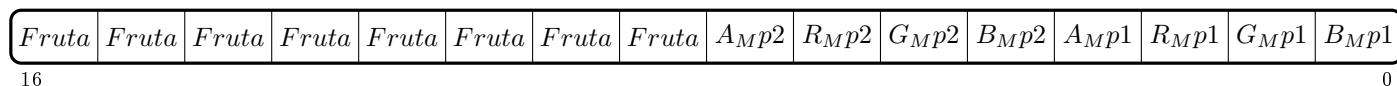
6.2. Código ASM

El código en ASM se trata también de una conjunción de ciclos. El ciclo exterior recorre desde la segunda hasta la ante última fila, y el interior recorre las columnas desde la segunda hasta la ante última, pero saltando de a dos píxeles, que es la cantidad que procesamos simultáneamente con instrucciones SSE.

El ciclo interior consta de dos partes, la primera es calcular un registro en el que en las primeras dos DW guardamos los máximos valores de cada canal entre los píxeles lindantes, en sus posiciones respectivas. Se vería así:

Vamos a hacer referencia como "fruta" cuando un byte tenga información que no nos interesa.

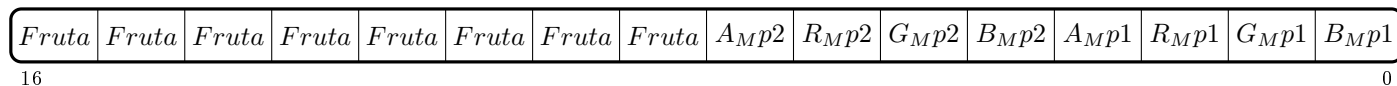
XMM1:



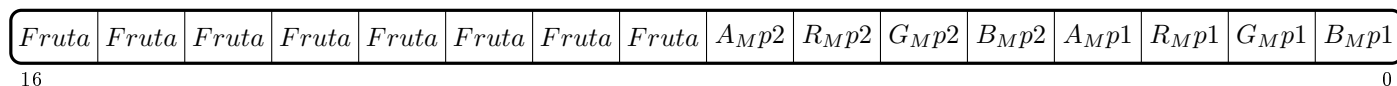
Luego con esta información lo que hacemos es duplicar dicho registro y calcular el máximo de los máximos. Lo que hacemos para lograr esto es shiftear un byte a la derecha al registro duplicado, cosa de poder ir comparando entre ellos a los valores máximos de cada canal, y finalmente reproducimos el valor del máximo entre los máximos en todas las posiciones. El seguimiento de esta operación sería la siguiente:

Vamos a utilizar para esto los registros xmm1, y xmm2

XMM2:

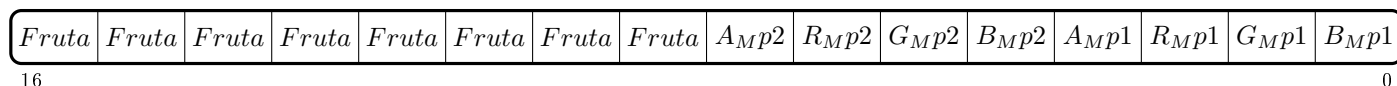


XMM1:



shifteo un byte a la derecha xmm2 y hacemos pmaxub xmm1,xmm2 máximo entre ambos)

XMM2:



XMM1:

<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>RG_{MP2}</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>RG_{MP1}</i>	<i>Fruta</i>
16															0

notar que varias casillas ahora tienen mas la asignación de "fruta", y esto no es porque no sepamos que hay dentro de cada una, sino que no es información relevante a nuestras operaciones y que sera pisada si es necesario dentro de pronto

luego volvemos a shiftear y repetir la operación pmaxub xmm1,xmm2 y queda:

XMM2:

<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>A_{MP2}</i>	<i>R_{MP2}</i>	<i>G_{MP2}</i>	<i>B_{MP2}</i>	<i>A_{MP1}</i>	<i>R_{MP1}</i>	<i>G_{MP1}</i>	<i>B_{MP1}</i>
16															0

XMM1:

<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>RGB_{p2}</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>RGB_{MP1}</i>
16															0

por último con la instrucción pshuf, dejamos en xmm1 un registro con los máximos de los máximos representado de esta forma:

XMM1:

<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>Fruta</i>	<i>RGB_{p2}</i>	<i>RGB_{p2}</i>	<i>RGB_{p2}</i>	<i>RGB_{p2}</i>	<i>RGB_{MP1}</i>	<i>RGB_{MP1}</i>	<i>RGB_{MP1}</i>	<i>RGB_{MP1}</i>
16															0

Y en la segunda parte del código lo que queda es que a este registro con la info del máximo de los máximos, lo transformamos en un registro con un 1 en el byte donde va el canal que contiene a este máximo entre los máximos (de cada píxel). Y ceros en el resto.

Teniendo esto se puede apreciar en el código cómo nos armamos los alphas personalizados para cada píxel y terminamos multiplicandolos y reescribiendo ambos píxeles.

Por último avanzamos nuestros currents sobre columnas en dos porque es la cantidad de píxeles que procesamos y volvemos en caso de no haber terminado toda la fila a empezar el ciclo interior.

6.3. Experimentación

6.3.1. Idea

En la experimentación de este filtro al igual que en el resto vamos a comparar el rendimiento respecto a los ciclos de clock, que tiene la funcion colorizar en C desde -o0 a -o3 contra asm.

Luego el segundo experimento va a consistir en probar la influencia del jump predictor en el código.

Primero agragando jumps de forma que no influya el flujo del programa solo para molestar al jump predictor. Luego vamos a correrlo tal cual está, y de a poco vamos a ir desenrollando el código. Como dijimos tiene un ciclo externo y uno interno, por lo que vamos a desenrollar primero el interno 4 veces, despues 32 y ver que pasa.

Y finalmente el último experimento que vamos a hacer es aprovechar el tamaño que tiene el código y vamos a desenrollarlo completamente, de manera que generemos un código tan grande que al correrlo no entre en la memoria cache para que el PC entonces empiece a generar Miss Hits en el momento de ir leyendo la próxima instrucción y ver qué pasa entonces.

6.3.2. Hipótesis

Nuestra hipotesis es que el rendimiento va a ir mejorando a medida que vayamos cambiando los programas respectivamente a como los fuimos mencionando, es decir, el más lento va a ser el código de asm molestando al jmp predictor, y el mas rápido desenrollando el codigo 32 veces.

Y en el el último test, por más que desenrollemos todo el programa creemos justamente que va a ser el más lento, porque justamente el tamaño del código va a generar una gran cantidad de Miss Hits en lecturas de la siguiente instrucción, y que va a vencer la optimización generada por eliminar los controladores de flujo.

6.3.3. Resultados

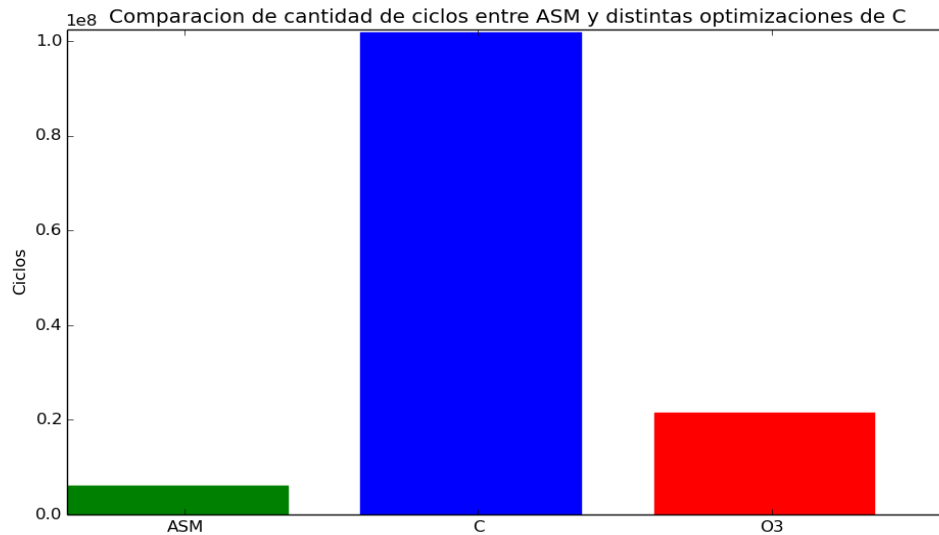


Figura 8: Gráfico de barras comparando las implementaciones y diversas optimizaciones.

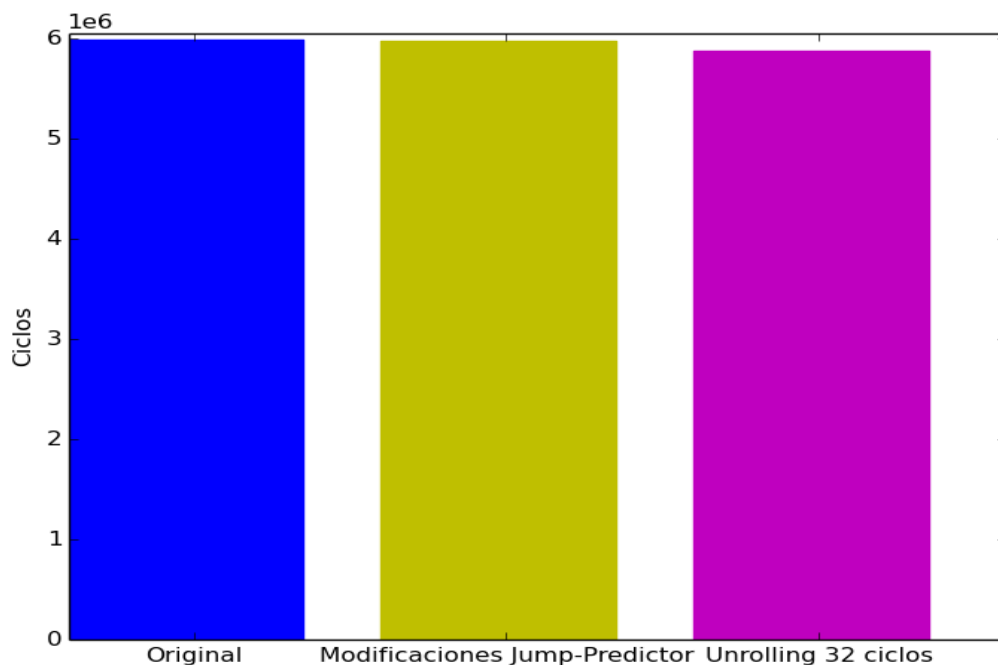


Figura 9: Gráfico de barras comparando la implementación original en ASM y la implementación en ASM con diversas modificaciones.

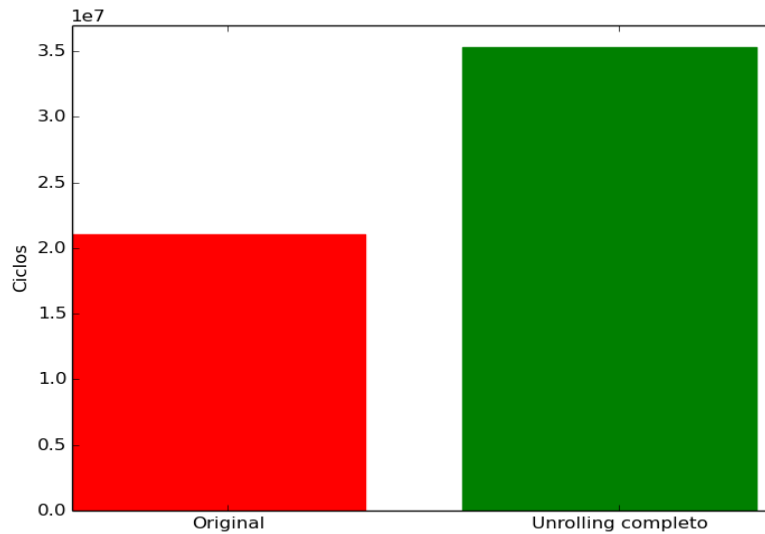


Figura 10: Gráfico de barras comparando la implementación original en ASM y la implementación en ASM con unrolling completo aplicado a una imagen de 1024x768.

6.3.4. Conclusión

Primera gran conclusión reveladora, `c -O0` demuestra ser mucho mas lento que optimizando, el código mejoro 5 veces su cantidad de ciclos por llamada al compilar con `-O3`. Luego sin embargo la función hecha en asm le sigue ganando por bastante a C, en una proporción de 3.5 veces más rápido en cantidad de ciclos todavía. Ahora en cuanto al experimento personalizado, hicimos una comparación con distintos códigos para medir la influencia del jump predictor en la ejecución del código. Primera prueba fue la de intentar molestar al Jump Predictor. Sin embargo, por más que intentamos, descubrimos que el algoritmo que lo dirige es mucho más sofisticado de lo que pensábamos, por lo que no pudimos modificar en lo mas mínimo la eficiencia del código. Luego para contrastar el último experimento mencionado, intentamos implementar lo contrario, desenrollar el código de manera que nunca influya un Miss Jump en la ejecución del programa, sin embargo, ya con la conclusión del experimento anterior, logramos ver que desenrollar el código principal 4 y 32 veces no mostró ninguna diferencia con respecto al original. Por último en el experimento final con desenrollar, en el cual se pretendia desenrollar completamente el código, tuvimos mejores resultados. Funciono muy bien, lo intentamos con una imagen de 1024x768 para que el ciclo pueda ser desenrollado más cantidad de veces, y así se ve que el código modificado tardó en promedio al rededor de unos 14.000.00 de ciclos más que el original. Justamente por lo mencionado en la sección de hipotesis que la cantidad de Miss Hits generados por el P.C tuvo mucha mayor influencia que el tema de los jumps.