



DEPARTAMENTO
DE COMPUTACION

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Trabajo Práctico II

subtitulo del trabajo

Organización del Computador II
Segundo Cuatrimestre de 2014

| Integrante | LU | Correo electrónico |
|----------------|--------|----------------------|
| Joaquin Romera | 183/16 | joakromera@gmail.com |
| Santiago Tucci | 682/16 | stucci4@gmail.com |
| Carlos Soliz | 406/12 | rcarlos.cs@gmail.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 |
| 1.1. Objetivos Generales | 3 |
| 1.2. Metodología | 3 |
| 2. Filtros | 4 |
| 2.1. Blit | 4 |
| 2.2. Monocromatizar | 5 |
| 2.3. Ondas | 6 |
| 2.4. Temperature | 7 |
| 2.5. Edge | 8 |
| 3. Mediciones y rendimiento | 9 |
| 4. Conclusiones y trabajo futuro | 10 |

1. Introducción

En el presente trabajo práctico exploramos los modelos de ejecución SIMD (Single instruction Multiple Data). Se trata de un modelo de ejecución capaz de computar una sola operación sobre un conjunto de múltiples datos.

Es muy útil para procesar audio, video o imágenes, donde aplican algoritmos repetitivos sobre ese mismo conjunto de datos, por ejemplo: filtros, compresores.

1.1. Objetivos Generales

Se llevó a cabo la implementación de los siguientes 5 filtros para imágenes:



Imagen original



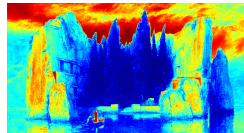
Blit



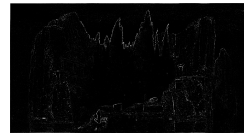
Monocromatizar



Ondas



Temperature



Edge

1.2. Metodología

La elaboración del trabajo se dividió en dos etapas. En primer lugar, se implementaron ambos filtros tanto en lenguaje C como en lenguaje ensamblador para la arquitectura x86-64 de Intel. En este último caso, se utilizaron las instrucciones SSE de dicha arquitectura, que aprovechan el ya mencionado modelo SIMD para procesar datos en forma paralela.

Una vez realizadas estas implementaciones, fueron sometidas a un proceso de comparación para extraer conclusiones acerca de su rendimiento. Con este fin, se experimentó con variaciones tanto en los datos de entrada como en detalles implementativos de los mismos algoritmos. De esta manera, se pudo recopilar datos sobre el comportamiento de cada implementación, y contrastar estos resultados con diversas hipótesis previamente elaboradas.

2. Filtros

2.1. Blit

Blit ASM

En este Filtro Blit procesamos de a 4 píxeles, Tenemos dos ciclos en assembler, uno que recorre las columnas de la imagen y otra q recorre las fila. Cuando itera la fila es en ese momento q toman los 4 píxeles de I_{src} y lo copiamos en I . Hay caso especial cuando nos encontramos en la fila $\text{Height}(I_{src}) - \text{Height}(I_{blit})$ columna $\text{Width}(I_{src}) - \text{Width}(I_{blit})$, es en ese caso que tenemos o no aplicar el blit segun la formula explicada arriba. Abajo detallaremos esa parte importante del código ASSEMBLER q desarrolla el blit con un ejemplo.

- En los registro **xmm0,xmm14** tenemos la copia de los cuatro píxeles q levantamos de memoria, uno es I_{src} y el otro I_{blit} respectivamente. Y en **xmm2, xmm15** las mascaras q utilizamos para la comparación y operaciones lógicas.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | b | g | r | a | b | g | r | a | b | g | r | a | b | g | r |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

xmm0 $\leftarrow I_{src}$

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | G | R | A | B | G | R | A | B | G | R | A | B | G | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

xmm14 $\leftarrow I_{blit}$

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|
| 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 255 | 0 | 255 | 255 | 255 | 0 | 255 |
|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|

Mascara Magenta xmm15 (maskMagenta)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h | 00h |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Mascara en xmm2 (maskCeros)

- Mascara para filtrar píxeles valor magenta. A suponemos que hay dos píxeles color magenta en I_{blit} a modo de ejemplo en los píxeles 1 y 3(siguiendo el orden de pixel_15,...,pixel_0). A esta mascara la guardamos en xmm12 y xmm15.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

xmm12,xmm15 $\leftarrow \text{pcmpeqd xmm15, xmm14}$

- Mascara para filtrar píxeles que No son magenta.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0xFF | 0xFF | 0xFF | 0xFF |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

xmm15 $\leftarrow \text{pcmpeqd xmm15, xmm13}$

- Me quedo con los valores de I_{src} que tengo q poner en la imagen I_{dst} .

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|------|------|------|------|---|---|---|---|------|------|------|------|
| A | B | G | R | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | A | B | G | R | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
|---|---|---|---|------|------|------|------|---|---|---|---|------|------|------|------|

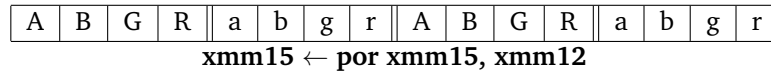
xmm12 $\leftarrow \text{pand xmm12, xmm0}$

- Me quedo con los valores de I_{blit} que tengo q poner en la imagen I_{dst} .

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|---|---|---|---|------|------|------|------|---|---|---|---|
| 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | a | b | g | r | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | a | b | g | r |
|------|------|------|------|---|---|---|---|------|------|------|------|---|---|---|---|

xmm15 $\leftarrow \text{pand xmm15, xmm14}$

- Junto todos los valores en xmm15.



- Por ultimo resta guardar estos 4 pixeles(xmm15) en I_{dst} .

Para mas detalles dejamos el es-tracto de ASM.

```
maskMagenta: db 255 ,0, 255, 255, 255, 0, 255, 255, 255, 0, 255, 255, 255, 0, 255, 255
maskCero: db 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0

section .text

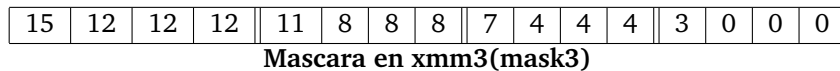
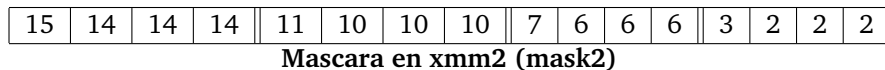
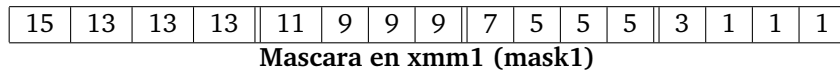
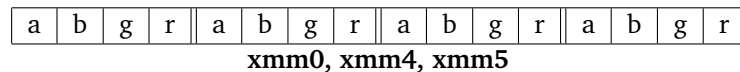
blit_asm:
...
movdqu xmm0, [rdi]; xmm0=|A B G R|A B G R|A B G R|A B G R|; img
movdqu xmm14, [r15]; xmm14=|a b g r|a b g r|a b g r|a b g r|; blit
    ; filtro los valores color magenta
pcmpeqd xmm15, xmm14    ; xmm15=|FF FF FF FF|00 00 00 00|FF FF FF FF|00 00 00 00|
movdqu xmm12, xmm15    ; xmm12= xmm15 paso la mascara a xmm12
    ;filtro los valores que no son magenta
pcmpeqd xmm15, xmm13    ; xmm15=|00 00 00 00|FF FF FF FF|00 00 00 00|FF FF FF FF|
    ;Me quedo con los velores de xmm0 que tengo que poner en la imagen
pand xmm12, xmm0        ; xmm2=|A B G R|00 00 00 00|A B G R|00 00 00 00|
    ;Me quedo con los valores de blit que tengo que poner en la imagen
pand xmm15, xmm14        ; xmm15=|00 00 00 00|a b g r|00 00 00 00|a b g r|
    ; Junto los dos valores en xmm15
por xmm15, xmm12        ;xmm15=|A B G R|a b g r|A B G R|a b g r|
movdqu [rsi], xmm15    ; Copio todo a dst
movdqu xmm15, [maskMagenta]
movdqu xmm13, [maskCero]
.....
```

2.2. Monocromatizar

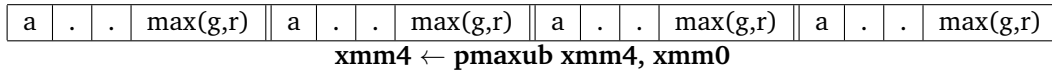
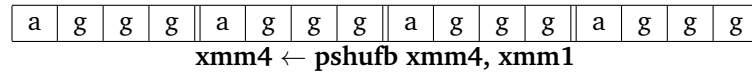
Monocromatizar ASM

En este filtro procesaremos de a 4 píxeles en cada iteración. Y por cada iteración se realizaran se realizaran los calculos de los del los máximos de cada píxel.

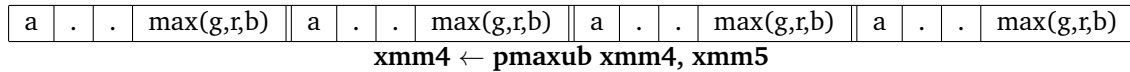
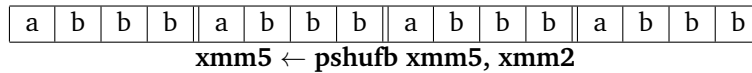
- En los registro **xmm0,xmm4, xmm5** tenemos la copia de los cuatro pixeles q levantamos de memoria. Y en **xmm1, xmm2, xmm3** las mascaras q utilizamos para los Shuffles que utilizaremos para permutar las componente.



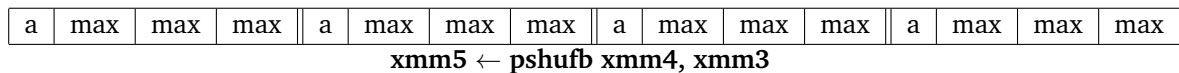
- Realizamos el **shuffle xmm4, xmm1**q nos coloca componente **g** en las posiciones que podemos observar en el registro xmm4. Y luego calculamos el máximo con la instrucc'ón **pmaxub**.



- Realizamos el mismo procedimiento en este paso. Y nos quedaría el valor del Máximo(ver imagen).



- Sólo resta copiar los máximos. Para esto utilizaremos el Shuffle junto con las mascara contenida en xmm3.



Por ultimo resta copiar esto a memoria. Como dato abajo brindamos el código ASM.

```
section .data
mask1: db 1, 1, 1, 3, 5, 5, 5, 7, 9, 9, 9, 11, 13, 13, 13, 15
mask2: db 2, 2, 2, 3, 6, 6, 6, 7, 10, 10, 10, 11, 14, 14, 14, 15
mask3: db 0, 0, 0, 3, 4, 4, 4, 7, 8, 8, 8, 11, 12, 12, 12, 15

section .text

monocromatizar_inf_asm:
.....
movdqu xmm0, [rdi]; xmm0=a b g r|a b g r|a b g r|a b g r|
movdqu xmm4, xmm0; xmm4= xmm0
movdqu xmm5, xmm0; xmm5= xmm0

pshufb xmm4, xmm1; xmm4=a g g g|a g g g|a g g g|a g g g|
pmaxub xmm4, xmm0; xmm4=a . . max(g,r)|a . . max(g,r)|a . . max(g,r)|a . . max(g,r)|;primer maximo

pshufb xmm5, xmm2; xmm5=a b b b|a b b b|a b b b|a b b b|
pmaxub xmm4, xmm5; xmm4=a . . max(g,r,b)|a . . max(g,r,b)|a . . max(g,r,b)|a . . max(g,r,b)|;maximo de maximos
; xmm4=a . . max|a . . max|a . . max|a . . max|
pshufb xmm4, xmm3; xmm4=a max max max|a max max max|a max max max|a max max max|

movdqu [rsi], xmm4; [rsi]= xmm4
.....
```

2.3. Ondas

Este filtro combina la imagen original con una imagen de ondas, dando tonos más oscuros y mas claros en forma de onda. Estas se generan desde el centro de la imagen hacia sus bordes de manera concéntrica.

Para ellos aplicamos la profundidad y lo sumamos a cada componete del pixel(ver linea 16 y 18 del pseudocodigo).

Algorithm 1 *ondas*($I_{src}, I_{dst}, x_0, y_0$)

```

1: for all pixel ubicado en la posici'ón (x, y) do
2:    $d_x \leftarrow x - x_0$ 
3:
4:    $d_y \leftarrow y - y_0$ 
5:
6:    $d_{xy} \leftarrow \sqrt{d_x^2 + d_y^2}$ 
7:
8:    $r \leftarrow \frac{(d_{xy} - RADIUS)}{WAVELENGTH}$ 
9:
10:   $a \leftarrow \frac{1}{1 + (\frac{r}{TRAINWIDTH})^2}$ 
11:
12:   $t \leftarrow (r - \text{floor}(r)) \cdot 2 \cdot \pi - \pi$ 
13:
14:   $prof \leftarrow a \cdot (t - \frac{t^3}{6} + \frac{t^5}{120} - \frac{t^7}{5040})$ 
15:
16:   $pixel = prof \cdot 64 + I_{src}(x, y)$ 
17:
18:   $I_{dst}(x, y) = \text{saturar}(pixel)$ 
19: end for

```

donde:

- x_0 e y_0 representan la posici'ón donde est'a centrada la onda,
- $RADIUS$, $WAVELENGTH$ y $TRAINWIDTH$ son constantes que definen la forma de la onda y
- $\text{saturar}(x)$ es una funci'ón que retorna 0 si x es menor 0, 255 si es mayor a 255 y x en cualquier otro caso.

donde:

- x_0 e y_0 representan la posici'ón donde est'a centrada la onda,
- $RADIUS$, $WAVELENGTH$ y $TRAINWIDTH$ son constantes que definen la forma de la onda y
- $\text{saturar}(x)$ es una funci'ón que retorna 0 si x es menor 0, 255 si es mayor a 255 y x en cualquier otro caso.

2.4. Temperature

El filtro temperatura toma una imagen fuente y genera un efecto que simula un mapa de calor. El filtro toma los tres componentes del cada pixel, los suma y divide por 3, y califica a eso como la temperatura t .

$$t_{(i,j)} = \lfloor (\text{src}.r_{(i,j)} + \text{src}.g_{(i,j)} + \text{src}.b_{(i,j)}) / 3 \rfloor$$

En funci'ón de la temperatura, se determina el color en la imagen destino. Para evitar diferencias con los resultados la cátedra, la temperatura debe truncarse y guardarse en una variable de tipo entero.

$$\text{dst}_{(i,j)} < r, g, b > = \begin{cases} < 0, 0, 128 + t \cdot 4 > & \text{si } t < 32 \\ < 0, (t - 32) \cdot 4, 255 > & \text{si } 32 \leq t < 96 \\ < (t - 96) \cdot 4, 255, 255 - (t - 96) \cdot 4 > & \text{si } 96 \leq t < 160 \\ < 255, 255 - (t - 160) \cdot 4, 0 > & \text{si } 160 \leq t < 224 \\ < 255 - (t - 224) \cdot 4, 0, 0 > & \text{si no} \end{cases}$$

El pseudocódigo q resuelve el filtro es el siguiente:

Algorithm 2 $temperature(I_{src}, I_{dst})$

```
1: for all y:=0 to Height( $I_{src}$ ) do
2:   for all x:=0 to Width( $I_{src}$ ) do
3:      $pixel \leftarrow I_{src}(x, y)$ 
4:      $Nat\ t \leftarrow \lfloor (\frac{Red(pixel)+Green(pixel)+Blue(pixel)}{3}) \rfloor$ 
5:     if  $t < 32$  then
6:        $I_{dst}(x, y) \leftarrow DevolverPixel(0, 0, 128 + t \cdot 4)$ 
7:     else if  $32 \leq t < 96$  then
8:        $I_{dst}(x, y) \leftarrow DevolverPixel(0, (t - 32) \cdot 4, 255)$ 
9:     else if  $96 \leq t < 160$  then
10:       $I_{dst}(x, y) \leftarrow DevolverPixel((t - 96) \cdot 4, 255, 255 - (t - 96) \cdot 4)$ 
11:    else if  $160 \leq t < 224$  then
12:       $I_{dst}(x, y) \leftarrow DevolverPixel(255, 255 - (t - 160) \cdot 4, 0)$ 
13:    else
14:       $I_{dst}(x, y) \leftarrow DevolverPixel(255 - (t - 224) \cdot 4, 0, 0)$ 
15:    end if
16:  end for
17: end for
```

2.5. Edge

Este filtro opera sobre imágenes en escala de grises (1 componente de color por píxel). En los bordes que no se pueden procesar según la fórmula anterior (por estar a los costados de la imagen), aplica la fórmula $dst(x, y) = src(x, y)$.

Algorithm 3 $edge(I_{src}, I_{dst})$

```
1: for all y:=1 to Height( $I_{src}$ -1) do
2:   for all x:=1 to Width( $I_{src}$ )-1 do
3:      $m_{0,0} \leftarrow I_{src}(x - 1, y - 1) * 0,5$ 
4:      $m_{0,1} \leftarrow I_{src}(x - 1, y) * 1$ 
5:      $m_{0,2} \leftarrow I_{src}(x - 1, y + 1) * 0,5$ 
6:      $m_{1,0} \leftarrow I_{src}(x, y - 1) * 1$ 
7:      $m_{1,1} \leftarrow I_{src}(x, y) * (-6)$ 
8:      $m_{1,2} \leftarrow I_{src}(x, y + 1) * 1$ 
9:      $m_{2,0} \leftarrow I_{src}(x + 1, y - 1) * 0,5$ 
10:     $m_{2,1} \leftarrow I_{src}(x + 1, y) * 1$ 
11:     $m_{2,2} \leftarrow I_{src}(x + 1, y + 1) * 0,5$ 
12:     $edge \leftarrow m_{0,0} + m_{0,1} + m_{0,2} + m_{1,0} + m_{1,1} + m_{1,2} + m_{2,0} + m_{2,1} + m_{2,2}$ 
13:     $I_{dst}(x, y) \leftarrow Saturar(edge)$ 
14:  end for
15: end for
```

3. Mediciones y rendimiento

La forma de medir el rendimiento de nuestras implementaciones se realizará por medio de la toma de tiempos de ejecución del algoritmo (sea este el código version assembler o el código C). Como los tiempos de ejecución son muy pequeños, se utilizará uno de los contadores de performance que posee el procesador. La instrucción de assembler `rdtsc` permite obtener el valor del Time Stamp Counter (TSC) del procesador. Este registro se incrementa en uno con cada ciclo del procesador. Obteniendo la diferencia entre los contadores antes y después de la llamada a la función, podemos obtener la cantidad de ciclos de esa ejecución. Esta cantidad de ciclos no es siempre igual entre invocaciones de la función, ya que este registro es global del procesador y se ve afectado por una serie de factores.

Existen principalmente dos problemáticas a solucionar: 1). La ejecución puede ser interrumpida por el scheduler para realizar un cambio de contexto, esto implicará contar muchos más ciclos (outliers) que si nuestra función se ejecutara sin interrupciones.

2). Los procesadores modernos varían su frecuencia de reloj, por lo que la forma de medir ciclos cambiará dependiendo del estado del procesador.

solucion 1): Para evitar el problema de los ciclos outliers lo que hicimos fue,

Paso 1: En nuestro caso hicimos 100 veces la medición de tiempo de nuestro algoritmo y guardarlo en un contenedor (podría ser un arreglo, lista, conjunto, diccionario, ..., etc).

Paso 2: Sacar la media, también conocido como promedio, ejemplito:

$$Prom = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{100}}{100}$$

Donde x_i es la medición de tiempo de la medición número i , con $1 \leq i \leq 100$

Paso 3: Calculamos la varianza:

$$Varianza = \sigma^2 = \frac{(x_1 - Prom) + (x_2 - prom) + \dots + (x_{100} - prom)}{100}$$

Paso 4: Calculamos el desvío estándar, $\sigma = \sqrt{Varianza}$

Paso 5: Utilizando el desvío estándar y el promedio, puedo ver que medición es "buena" y cual no. Más formalmente una medición es "buena" si cumple:

$$Prom - \sigma \leq x_i \leq Prom + \sigma.$$

Luego sumando las todas las mediciones "buenas" y dividiéndolas por la cantidad de mediciones buenas, obtengo el "promedio bueno". Con esto amortiguaria la cantidad de outliers de mis mediciones.

Observar: Todo lo anterior sirve también para mas de 100 mediciones.

Solucion 2): La solución que planteamos para esto fue, ejecutar solamente el algoritmo. Con esto queremos decir que la ejecución estara en el nivel más alto de privilegio de ejecución. Esto lo hacemos metiendonos en el sistema operativo (en este caso ubuntu 14.04), tocando el monitor de sistema para darle privilegio a la ejecución. También evitamos interrumpir la maquina de forma mecanica (osea humana).

4. Conclusiones y trabajo futuro

A partir de los experimentos realizados en este trabajo, se pudo llegar a la conclusión de que las ventajas que brinda el paradigma **SIMD** a la hora de implementar programas que realicen operaciones altamente paralelizables, como el procesamiento de imágenes, son verdaderamente significativas. Esto queda reflejado en la gran brecha de rendimiento que se observa entre las implementaciones realizadas con dicho paradigma y las que utilizan el lenguaje de programación C.

Esto siempre debe contraponerse a otro hecho que se hizo presente durante el proceso de implementación: realizar un programa en lenguaje ensamblador resulta, por lo general, considerablemente más difícil que hacerlo en un lenguaje de más alto nivel. El código resultante es menos legible, es más sencillo cometer errores y el proceso de *debugging* se vuelve considerablemente más arduo. Por eso es importante analizar de antemano las características del contexto particular de aplicación, para poder decidir si este esfuerzo adicional realmente vale la pena.

Ahondando en los detalles más técnicos de la implementación, se intentó la realización de una optimización manual dentro del código ensamblador, sin obtener resultados destacables. La razón de esto es que estructura del código dificultaba ampliamente la realización de dicha modificación. Realizar la optimización de manera efectiva habría implicado modificar gran parte del código ya armado, con un costo casi equivalente al de empezarlo de nuevo con un enfoque distinto; esto es consecuencia de la ya mencionada dificultad que presenta mantener el código programado en este lenguaje.