

Práctica DLX Conjetura de Collatz

Óscar Hernández Hernández

Jon García González

Implementación de la Conjetura de Collatz. Trás calcular la conjetura dado un valor inicial, realizar unos calculos sobre datos de la secuencia.

$$secuencia[0] = valor_inicial$$

$$secuencia[n] = \begin{cases} \frac{secuencia[n-1]}{2} & , \text{ si } secuencia[n] \text{ es par} \\ secuencia[n-1] \times 3 + 1 & , \text{ si } secuencia[n] \text{ es impar} \end{cases}$$

Configuración Usada

```
Hardware configuration:
Memory size: 32768 Bytes
faddEX-Stages: 1, required Cycles: 2
fmulEX-Stages: 1, required Cycles: 5
fdivEX-Stages: 1, required Cycles: 19
Forwarding enabled.
```

Esto quiere decir que tenemos en total 3 unidades de procesos en coma flotante, 1 de adición, otro de multiplicación y otro de división, que requieren 2,5 y 19 ciclos respectivamente. También nos informa que tenemos el mecanismo de adelantamiento activado (*forwarding*).

Implementación no optimizada

Todos los cálculos están sacados con el valor_inicial = 97.

Se realizó una primera implementación partiendo del código visto en clase. Este código calculaba y mostraba por pantalla la conjetura de collatz.

Lo primero que quisimos implementar a el código base fue el guardado en memoria de la secuencia. Para ello movemos y convertimos el valor del registro donde estamos calculando la conjetura a float cada vez que calculamos un nuevo elemento de la secuencia.

```

main:
    lw r4,valor_inicial

    movi2fp f1, r4
    cvti2f f1,f1

    addi r1,r0,secuencia
    sf 0(r1),f1
    addi r1,r1, #4

    addi r2,r0,1
    addi r3,r0,3

```

En la rutina main podemos ver claramente como lo realizamos. Una vez guardado el valor en memoria movemos *r1* a la siguiente dirección de memoria.

```

loop:
    subi r8,r4,1
    beqz r8,jump

    addi r2,r2,1

    andi r9,r4,1
    beqz r9,par
    ;impar
    mult r10,r4,r3
    addi r10,r10,1
    add r4,r10,r0

    movi2fp f1,r4
    cvti2f f1,f1

    sf 0(r1),f1
    addi r1,r1,#4

    j loop

```

Nos mantendremos en el loop hasta que *r8* sea igual a 0, el cual es comprobado al principio de cada loop con la instrucción beqz. Aquí se puede observar un problema que consumirá muchos ciclos, la multiplicación hace que estemos 4 ciclos esperando a que acabe para poder usar su resultado en las siguientes operaciones. Este problema se solucionará con el desplazamiento lógico.

```

par:
    srli r6,r4,1
    add r4,r6,r0

    movi2fp f1,r4
    cvti2f f1,f1

    sf 0(r1),f1
    addi r1,r1,#4

j loop

```

De este fragmento lo más importante es como nos hemos ahorrado el coste de la división haciendo un desplazamiento lógico a la derecha.

Revisión de las estadísticas hasta ahora.

```

Total:
2074 Cycle(s) executed.
ID executed by 1469 Instruction(s).
3 Instruction(s) currently in Pipeline.

Hardware configuration:
Memory size: 32768 Bytes
faddEX-Stages: 1, required Cycles: 2
fmulEX-Stages: 1, required Cycles: 5
fdivEX-Stages: 1, required Cycles: 19
Forwarding enabled.

Stalls:
RAW stalls: 410 (19.77% of all Cycles), thereof:
  LD stalls: 1 (0.24% of RAW stalls)
  Branch/Jump stalls: 237 (57.80% of RAW stalls)
  Floating point stalls: 172 (41.95% of RAW stalls)
WAW stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Structural stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Control stalls: 194 (9.35% of all Cycles)
Trap stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Total: 604 Stall(s) (29.12% of all Cycles)

Conditional Branches):
Total: 237 (16.13% of all Instructions), thereof:
  taken: 76 (32.07% of all cond. Branches)
  not taken: 161 (67.93% of all cond. Branches)

Load-/Store-Instructions:
Total: 120 (8.17% of all Instructions), thereof:
  Loads: 1 (0.83% of Load-/Store-Instructions)
  Stores: 119 (99.17% of Load-/Store-Instructions)

Floating point stage instructions:
Total: 43 (2.93% of all Instructions), thereof:
  Additions: 0 (0.00% of Floating point stage inst.)
  Multiplications: 43 (100.00% of Floating point stage inst.)
  Divisions: 0 (0.00% of Floating point stage inst.)

Traps:
Traps: 0 (0.00% of all Instructions)

```

Solo con estos fragmentos de código nos encontramos con 2074 ciclos , 172 detenciones por coma flotante, 237 provocadas por un salto o bifurcación, 194 detenciones por control, este dato equivale al numero de saltos efectivos, los cuales ocasionan una detención de un ciclo por cada uno. Siendo el total de Stalls 604.

Como podemos observar en el apartado de Floating point stage instructions, realizamos 43 multiplicaciones.

Seguimos con la implementación de *secuencia_maximo* y *secuencia_valor_medio*. Esto lo hacemos en la rutina llamada jump haciendo uso de las subrutinas *loopmax*, *simayor* y *simenor*.

```

jump:
    movi2fp f2, r2
    cvti2f f2,f2
    sf secuencia_tamanho,f2
    addf f10,f0,f0
    addi r1,r0,secuencia
    lf f4,0(r1)
    lf f11,0(r1)
    addf f10,f10,f4
    addi r1,r1,#4
    subi r2,r2,1
    beqz r2,calculos

    lf f5, 0(r1)
    addf f10,f10,f5
    addi r1,r1,#4

    j loopmax

```

```

loopmax:
    subi r2,r2,1
    beqz r2,calculos
    gef f4,f5
    bfpt simayor
    bfpf simenor
    j loopmax

```

```

simayor:
    lf f5, 0(r1)
    addf f10,f10,f5
    addi r1,r1,#4
    j loopmax

```

```

simenor:
    lf f4,0(r1)
    addf f10,f10,f4
    addi r1,r1,#4
    j loopmax

```

La subrutina *jump* es una subrutina que usamos una vez, aquí lo que realizamos es empezar a cargar los valores de la secuencia en un registro float para hacer la suma de todos ellos para posteriormente poder hacer la media de los valores de la secuencia. Al salir de esta subrutina en *r4* tenemos el primer valor de la secuencia y en *r5* tenemos el segundo valor. En *r2* tenemos *tamaño_secuencia -1*.

Pasamos a *loopmax*, aquí empezamos restando uno a *r2* y comprobando que no sea 0, en caso de que sea 0 hemos recorrido toda la secuencia por lo que pasamos a la subrutina *calculos* donde calcularemos la lista.

Haciendo uso de la instrucción *gef* (*greater equal float*) comprobamos si *f4* es mayor o igual que *f5*, esta instrucción pone 1 en el registro de estado de las operaciones de float (*FP status register*) si *f4* es mayor o igual a *f5*, y en caso de ser *f5* mayor pone 0.

Las siguientes instrucciones son las que hacen la comprobación de si el *FP status register* está a 0 o 1. Exactamente *bfpt* si es 1 y *bfpf* si es 0.

En las subrutinas *simayor* y *simenor* lo unico que hacemos es cargar en el que no es el mayor el siguiente valor de la secuencia y sumarlo al sumatorio de todos los valores de la secuencia.

Revisión de las estadísticas:

```
Total:
  3566 Cycle(s) executed.
  ID executed by 2486 Instruction(s).
  4 Instruction(s) currently in Pipeline.

Hardware configuration:
  Memory size: 32768 Bytes
  faddEX-Stages: 1, required Cycles: 2
  fmulEX-Stages: 1, required Cycles: 5
  fdivEX-Stages: 1, required Cycles: 19
  Forwarding enabled.

Stalls:
  RAW stalls: 648 (18.17% of all Cycles), thereof:
    LD stalls: 119 (18.36% of RAW stalls)
    Branch/Jump stalls: 356 (54.94% of RAW stalls)
    Floating point stalls: 173 (26.70% of RAW stalls)
  WAW stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
  Structural stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
  Control stalls: 430 (12.06% of all Cycles)
  Trap stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
  Total: 1078 Stall(s) (30.23% of all Cycles)

Conditional Branches):
  Total: 535 (21.52% of all Instructions), thereof:
    taken: 194 (36.26% of all cond. Branches)
    not taken: 341 (63.74% of all cond. Branches)

Load-/Store-Instructions:
  Total: 242 (9.73% of all Instructions), thereof:
    Loads: 121 (50.00% of Load-/Store-Instructions)
    Stores: 121 (50.00% of Load-/Store-Instructions)

Floating point stage instructions:
  Total: 164 (6.60% of all Instructions), thereof:
    Additions: 120 (73.17% of Floating point stage inst.)
    Multiplications: 43 (26.22% of Floating point stage inst.)
    Divisions: 1 (0.61% of Floating point stage inst.)

Traps:
  Traps: 0 (0.00% of all Instructions)
```

Si comparamos las estadísticas nos encontramos:

Ciclos: 2074 → 3566

RAW stalls: 410 → 648

- LD stalls: 1 → 119

- Branch/Jump stalls: 237 \rightarrow 356
- Floating point stalls: 172 \rightarrow 173

Control stalls: 194 \rightarrow 430

Total: 604 \rightarrow 1078

Como podemos ver está parte del código ocupa en torno a la mitad de los ciclos usados hasta el momento.

Esto se debe a que realizamos muchas detenciones por control y por carga de datos.

Esto será solucionado metiendo estas operaciones en el bucle principal.

Una vez hecho esto pasamos a realizar los calculos de la lista y guardar los valores de *secuencia_maximo* y *secuencia_valor_medio*.

calculos:

```
sf secuencia_maximo,f5
```

```
divf f12,f10,f2
```

```
sf secuencia_valor_medio,f12
```

```
addi r1,r0,lista
```

```
multf f15,f11,f2
```

```
sf 0(r1),f15
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
multf f16,f5,f2
```

```
sf 0(r1),f16
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
multf f17,f12,f2
```

```
sf 0(r1),f17
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
divf f18,f11,f5
```

```
multf f19,f18,f2
```

```
sf 0(r1),f19
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
divf f20,f11,f12
```

```
multf f21,f20,f2
```

```
sf 0(r1),f21
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
divf f22,f5,f11
```

```
multf f23,f22,f2
```

```
sf 0(r1),f23
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
divf f24,f5,f12
```

```
multf f25,f24,f2
```

```
sf 0(r1),f25
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
divf f26,f12,f11
```

```
multf f27,f26,f2
```

```
sf 0(r1),f27
```

```
addi r1,r1,#4
```

```
divf f28,f12,f5
```

```
multf f29,f28,f2
```

```
sf 0(r1),f29
```

```
addi r1,r1,#4
```



```

addi r15,r0,9
movi2fp f9, r15
cvti2f f9,f9

addf f30,f0,f15
addf f30,f30,f16
addf f30,f30,f17
addf f30,f30,f19
addf f30,f30,f21
addf f30,f30,f23
addf f30,f30,f25
addf f30,f30,f27
addf f30,f30,f29

divf f31,f30,f9
sf lista_valor_medio,f31

j finish

finish:
trap 0

```

Aquí únicamente realizamos los cálculos de la lista y los guardamos en memoria.

Ahora revisaremos las estadísticas totales, de las cuales restaremos las que nos habian salido hasta antes de entrar en la subrutina.

```

Total:
3809 Cycle(s) executed.
ID executed by 2537 Instruction(s).
2 Instruction(s) currently in Pipeline.

Hardware configuration:
Memory size: 32768 Bytes
faddEX-Stages: 1, required Cycles: 2
fmulEX-Stages: 1, required Cycles: 5
fdivEX-Stages: 1, required Cycles: 19
Forwarding enabled.

Stalls:
RAW stalls: 837 (21.97% of all Cycles), thereof:
    LD stalls: 119 (14.22% of RAW stalls)
    Branch/Jump stalls: 356 (42.53% of RAW stalls)
    Floating point stalls: 362 (43.25% of RAW stalls)
WAW stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Structural stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Control stalls: 431 (11.32% of all Cycles)
Trap stalls: 2 (0.05% of all Cycles)
Total: 1270 Stall(s) (33.34% of all Cycles)

Conditional Branches):
Total: 535 (21.10% of all Instructions), thereof:
    taken: 194 (36.26% of all cond. Branches)
    not taken: 341 (63.74% of all cond. Branches)

Load-/Store-Instructions:
Total: 253 (9.97% of all Instructions), thereof:
    Loads: 121 (47.83% of Load-/Store-Instructions)
    Stores: 132 (52.17% of Load-/Store-Instructions)

Floating point stage instructions:
Total: 189 (7.45% of all Instructions), thereof:
    Additions: 129 (68.25% of Floating point stage inst.)
    Multiplications: 52 (27.51% of Floating point stage inst.)
    Divisions: 8 (4.23% of Floating point stage inst.)

Traps:
Traps: 1 (0.04% of all Instructions)

```

Ciclos: 3566 → 3809

RAW stalls: 648 → 837

- LD stalls: 119 → 119
- Branch/Jump stalls: 356 → 356
- Floating point stalls: 173 → 362

Control stalls: 430 → 430

Trap stalls: 0 → 2

Total: 1078 → 1270

Como podemos observar el numero de ciclos no ha aumentado mucho pero el numero de detenciones por float se ha duplicado. Esto se debe a que en esta parte del código lo unico que hacemos es multiplicar, dividir y sumar para realizar los cálculos de la lista.

Implementación optimizada

Para esta implementación primero analizamos los problemas que teníamos:

- La multiplicación del loop consume mucho.
- Realizamos las operaciones de `valor_maximo` y la suma de valores en un bucle aparte pudiendolo meter en el principal.
- La parte de calculos se puede optimizar reduciendo las divisiones.
- Intentar reducir el numero de saltos al comprobar si es par o impar.

Multiplicación del loop

Para realizar la multiplicación si $secuencia[n - 1]$ es impar, fuimos a lo más básico, $3x = x + x + x = 2x + x$. Una vez planteado esto podemos usar el desplazamiento lógico hacia la izquierda para multiplicar por 2 y luego sumarle de nuevo él mismo.

```
slli r4,r4,1  
add r4,r10,r4  
addi r4,r4,1
```

Si ejecutamos la versión sin optimizar y una versión con solo esta optimización vemos que hemos reducido alrededor de 200 ciclos y 200 detenciones totales. Por lo que podemos concluir que es una buena optimización.

Operaciones de `valor_maximo` y `sumavalores`

El valor máximo siempre viene precedido por un impar, esto es debido a que el propio problema te dice que si el valor anterior de la secuencia es par debes dividirlo entre 2.

Una vez planteado eso ya solo tienes que copiar el valor de $f1$ en $f4$ siempre que $f1$ sea mayor.

La suma de valores de la secuencia es unicamente sumar el valor del valor actual que estemos calculando a la variable.

```

mayor:
    movf f4,f1
loop:
    subi r8,r4,1
    add r13,r13,r4
    beqz r8,calculos

    andi r9,r4,1

    addi r2,r2,1

    beqz r9,par
;impar
    slli r10,r4,1
    add r4,r10,r4
    addi r4,r4,1

    movi2fp f1,r4
    cvti2f f1,f1

    sf 0(r1),f1
    addi r1,r1,#4

    gtf f4,f1
    bfpf mayor

    j loop

```

Si comprobamos si la optimización es relevante nos encontramos que de 3566 ciclos hemos pasado a 2049 ciclos y el total de detenciones ha bajado alrededor de dos tercios del mismo, de 1078 a 388. Aquí hemos hecho la gran optimización del programa, casi la mitad de ciclos y dos tercios de las detenciones del programa.

Esto es debido a que ya no tenemos que volver a recorrer la secuencia sumando y buscando el máximo, con los cálculos y saltos que ello conlleva.

Aquí dejamos una comparativa de las estadísticas de la versión no optimizada y la versión solo con la optimización de cálculo de valor_máximo y sumavalores.

Stalls:

RAW stalls: 648 (18.17% of all Cycles), thereof:
LD stalls: 119 (18.36% of RAW stalls)
Branch/Jump stalls: 356 (54.94% of RAW stalls)
Floating point stalls: 173 (26.70% of RAW stalls)
WAW stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Structural stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Control stalls: 430 (12.06% of all Cycles)
Trap stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Total: 1078 Stall(s) (30.23% of all Cycles)

Stalls:

RAW stalls: 193 (9.30% of all Cycles), thereof:
LD stalls: 1 (0.52% of RAW stalls)
Branch/Jump stalls: 0 (0.00% of RAW stalls)
Floating point stalls: 192 (99.48% of RAW stalls)
WAW stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Structural stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Control stalls: 195 (9.40% of all Cycles)
Trap stalls: 0 (0.00% of all Cycles)
Total: 388 Stall(s) (18.71% of all Cycles)

Añadiendo las dos optimizaciones vistas hasta ahora los ciclos se reducen a 1878 y el total de detenciones a 196.

Calculos de la lista

Aqui se plantea el problema del coste de la división y la multiplicación. La división nos cuesta 19 ciclos frente a los 5 ciclos de la multiplicación.

Este problema se soluciona convirtiendo las divisiones en multiplicaciones y sacando constantes.

$$\begin{aligned} V_{med} &= SumaSecuencia / vT \\ lista &= [vIni * vT, vMax * vT, vMed * vT, \\ &\quad (vIni / vMax) * vT, (vIni / vMed) * vT, \\ &\quad (vMax / vIni) * vT, (vMax / vMed) * vT, \\ &\quad (vMed / vIni) * vT, (vMed / vMax) * vT] \\ lista_valor_medio &= SumaValoresLista / 9 \end{aligned}$$

Como podemos observar tenemos que hacer 8 divisiones y 9 multiplicaciones.

$$\begin{aligned} vMed &= SumaSecuencia / vT \\ vIni * vT &= \alpha \quad vMax * vT = \beta \\ vMed * vT &= (SumaSecuencia / vT) * vT = SumaSecuencia = \lambda \\ (vIni / vMax) * vT &= vIni * (1 / vMax) * vT = \alpha * (1 / vMax) \\ (vIni / vMed) * vT &= vIni * (1 / vMed) * vT = \alpha * (1 / vMed) \\ (vMax / vIni) * vT &= vMax * (1 / vIni) * vT = \beta * (1 / vIni) \\ (vMax / vMed) * vT &= vMax * (1 / vMed) * vT = \beta * (1 / vMax) \\ (vMed / vMax) * vT &= vMed * (1 / vIni) * vT = \lambda * (1 / vIni) \\ (vMed / vMax) * vT &= vMed * (1 / vMax) * vT = \lambda * (1 / vMax) \end{aligned}$$

$$lista_valor_medio = SumaValores * 0.111111 \rightarrow 1/9 = 0.\overline{1}$$

Una vez hecho esto nos encontramos con que tenemos que realizar 4 divisiones y 9 multiplicaciones. Por lo que hemos realizado la mitad de divisiones. Considerando el coste de las divisiones y el de las multiplicaciones vemos que pese a noser donde más se optimiza conseguimos bajar unos cuantos ciclos.

Bucle par impar

Si nos fijamos, si conseguimos dehacer el bucle de alguna forma podriamos optmizar bastante código. Para ello lo que haremos será añadir al bucle principal una iteracción más del loop(duplicamos el cuerpo del bucle) y al par añadir dos veces el bucle. Esto se hace para evitar el salto a loop `j loop` . El resultado es una optimización de 200 ciclos y 100 Stalls.

Estadísticas

valor_inicial : 97

Estadísticas	VersionNoOptimizada	VersionOptimizada
Ciclos	3809	1751
Numero Instrucciones	2537	1610

STALLS	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
RAW Stalls	837 = 21.97% of all Cycles	33 = 1.88% of all Cycles
LD Stalls	119 = 14.22% of RAW Stalls	0 = 0.0% of RAW Stalls
Branch/Jump Stalls	356 = 42.53% of RAW Stalls	0 = 0.0% of RAW Stalls
Floating Point Stalls	362 = 43.25% of RAW Stalls	33 = 100.00% of RAW Stalls
WAW Stalls	0 = 0.0% of all cycles	0 = 0.0% of all cycles
Structural Stalls	0 = 0.0% of all cycles	15 = 0.86% of all cycles
Control Stalls	431 = 11.32% of all cycles	88 = 5.02% of all cycles
Trap Stalls	2 = 0.05% of all cycles	5 = 0.28% of all cycles
Total	1270 Stalls = 33.34% of all cycles	141 = 8.05% of all cycles

Conditional Branches	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	535 = 21.10% of all Instructions	280 = 17.39% of all Instructions
Tomados	194 = 36.26% of all cond. Branches	88 = 31.43% of all cond. Branches
No tomados	341 = 63.74% of all cond. Branches	192 = 68.57% of all cond. Branches

Instrucciones Load/Store	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	253 = 9.97% of all Instructions	135 = 8.38% of all Instructions
Loads	121 = 47.83% of Load/Store-Instructions	3 = 2.22% of Load/Store-Instructions
Stores	132 = 97.78% of Load/Store-Instructions	132 = 97.78% of Load/Store-Instructions

Instrucciones de punto flotante	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	189 = 7.45% of all Instructions	22 = 1.37% of all Instructions
Sumas	129 = 68.25% of Floating Point Stage inst.	9 = 40.91% of Floating Point Stage inst.
Multiplicaciones	52 = 27.51% of Floating Point Stage inst.	9 = 40.91% of Floating Point Stage inst.
Divisiones	8 = 4.23% of Floating Point Stage inst.	4 = 18.18% of Floating Point Stage inst.

Traps	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Traps	1 = 0.04% of all Instructions	1 = 0.06% of all Instructions

valor_inicial : 66

Estadísticas	VersionNoOptimizada	VersionOptimizada
Ciclos	1084	477
Numero Instrucciones	645	402

STALLS	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
RAW Stalls	333 = 30.72% of all Cycles	33 = 6.92% of all Cycles
LD Stalls	28 = 8.41% of RAW Stalls	0 = 0.0% of RAW Stalls
Branch/Jump Stalls	83 = 24.92% of RAW Stalls	0 = 0.0% of RAW Stalls
Floating Point Stalls	222 = 66.67% of RAW Stalls	33 = 100.00% of RAW Stalls
WAW Stalls	0 = 0.0% of all cycles	0 = 0.0% of all cycles
Structural Stalls	0 = 0.0% of all cycles	15 = 3.14% of all cycles
Control Stalls	102 = 9.41% of all cycles	21 = 4.40% of all cycles
Trap Stalls	2 = 0.18% of all cycles	5 = 1.05% of all cycles
Total	437 Stalls = 40.31% of all cycles	74 = 15.51% of all cycles

Conditional Branches	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	134 = 20.78% of all Instructions	63 = 15.67% of all Instructions
Tomados	47 = 35.07% of all cond. Branches	21 = 33.33% of all cond. Branches
No tomados	87 = 64.92% of all cond. Branches	42 = 66.67% of all cond. Branches

Instrucciones Load/Store	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	71 = 9.97% of all Instructions	44 = 10.94% of all Instructions
Loads	30 = 42.25% of Load/Store-Instructions	3 = 6.82% of Load/Store-Instructions
Stores	41 = 57.75% of Load/Store-Instructions	41 = 93.18% of Load/Store-Instructions

Instrucciones de punto flotante	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	63 = 9.77% of all Instructions	22 = 5.47% of all Instructions
Sumas	38 = 60.32% of Floating Point Stage inst.	9 = 40.91% of Floating Point Stage inst.
Multiplicaciones	17 = 26.98% of Floating Point Stage inst.	9 = 40.91% of Floating Point Stage inst.
Divisiones	8 = 12.70% of Floating Point Stage inst.	4 = 18.18% of Floating Point Stage inst.

Traps	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Traps	1 = 0.16% of all Instructions	1 = 0.25% of all Instructions

valor_inicial : 10

Estadísticas	VersionNoOptimizada	VersionOptimizada
Ciclos	447	190
Numero Instrucciones	197	129

STALLS	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
RAW Stalls	221 = 49.44% of all Cycles	33 = 17.37% of all Cycles
LD Stalls	7 = 3.17% of RAW Stalls	0 = 0.0% of RAW Stalls
Branch/Jump Stalls	20 = 9.05% of RAW Stalls	0 = 0.0% of RAW Stalls
Floating Point Stalls	194 = 87.78% of RAW Stalls	33 = 100.00% of RAW Stalls
WAW Stalls	0 = 0.0% of all cycles	0 = 0.0% of all cycles
Structural Stalls	0 = 0.0% of all cycles	15 = 7.89% of all cycles
Control Stalls	25 = 5.59% of all cycles	7 = 3.68% of all cycles
Trap Stalls	2 = 0.45% of all cycles	5 = 2.63% of all cycles
Total	248 Stalls = 55.48% of all cycles	60 = 31.58% of all cycles

Conditional Branches	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	29 = 14.72% of all Instructions	14 = 10.85% of all Instructions
Tomados	12 = 41.38% of all cond. Branches	7 = 50.00% of all cond. Branches
No tomados	17 = 58.62% of all cond. Branches	7 = 50.00% of all cond. Branches

Instrucciones Load/Store	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	29 = 14.72% of all Instructions	23 = 17.83% of all Instructions
Loads	9 = 31.03% of Load/Store-Instructions	3 = 13.04% of Load/Store-Instructions
Stores	20 = 68.96% of Load/Store-Instructions	20 = 86.96% of Load/Store-Instructions

Instrucciones de punto flotante	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Total	35 = 17.77% of all Instructions	22 = 17.05% of all Instructions
Sumas	17 = 48.57% of Floating Point Stage inst.	9 = 40.91% of Floating Point Stage inst.
Multiplicaciones	10 = 28.57% of Floating Point Stage inst.	9 = 40.91% of Floating Point Stage inst.
Divisiones	8 = 22.86% of Floating Point Stage inst.	4 = 18.18% of Floating Point Stage inst.

Traps	VersiónNoOptimizada	VersiónOptimizada
Traps	1 = 0.51% of all Instructions	1 = 0.78% of all Instructions