

Universidad Técnica Federico Santa María

*“Simulación del funcionamiento del procesador
utilizando ARM Assembly”*

Bayron Valenzuela, ROL: 202073580-8

Sofía Riquelme, ROL: 202073615-4

Fecha de entrega: 9 de Julio de 2022

1. Resumen

En el presente informe se describe el desarrollo de la tarea 4 de arquitectura de computadores, en la cual se implementaron 3 funciones matemáticas, simulando el funcionamiento de un procesador en el lenguaje ARM Assembly mediante el uso de QtARMSim. La entrada de datos corresponden a las operaciones a realizar junto con los valores iniciales y la salida corresponde a un único valor entero. Se obtuvieron los siguientes resultados.

2. Introducción

El objetivo de esta tarea entender y simular el funcionamiento de un procesador utilizando el lenguaje de ensamblador ARM Assembly mediante el uso de QtARMSim para poder resolver los siguientes 3 ejercicios matemáticos:

1. Calcular el valor de un lado de un triángulo rectángulo conociendo los otros dos
 - a) Calcular el valor de la hipotenusa dados los dos catetos.
 - b) Calcular el valor de un cateto dado el otro cateto y la hipotenusa.
2. Calcular la distancia entre 2 puntos del plano cartesiano
3. Calcular el promedio de un conjunto n de números enteros

La entrada de datos sera mediante una sección tipo `.data` al inicio del programa, como se ve en la figura 1, donde tendremos los siguientes datos:

- `modo`: Puede tomar valores 1, 2, 3 o 4 para denominar los ejercicios 1a, 1b, 2 y 3 respectivamente.
- `largo`: Largo del arreglo de entrada.
- `arreglo`: Para `modo` 1 y 2 serán 2 enteros (a, b) . Para `modo` 3 serán 4 enteros (a_x, a_y, b_x, b_y) . Para `modo` 4 tendrá la cantidad de enteros denotados por `largo`.

```
.data
modo      1      @ Ejercicio a resolver
largo     2      @ Largo del arreglo de entrada
arreglo   3, 4  @ Arreglo de entrada
```

Figura 1: Entrada de datos.

3. Desarrollo

Para el desarrollo de la tarea, los datos son ingresados como se indica en la figura 1, por lo que si se desean cambiar los datos de entradas se deben cambiar en esa parte de la tarea. Inicialmente se hace una comprobación del modo para luego derivar el problema a donde corresponda, como se puede ver a continuación:

```
1 .text
2 LDR r4, =modo
3 LDR r4, [r4]
4 CMP r4, #1
5 BEQ TRIANGLE
6 CMP r4, #2
7 BEQ HYP
8 CMP r4, #3
9 BEQ DISTANCE
10 CMP r4, #4
11 BEQ AVERAGE
```

Listing 1: Separación del problema.

Luego se implementa TRIANGLE que corresponde al ejercicio 1a

```
1 TRIANGLE:
2 LDR r1, =largo
3 LDR r1, [r1]
4
5 LDR r2, =arreglo
6 MOV r7, #0
7 MOV r3, #0
8 MOV r5, #0
9 MOV r4, #0
10 MOV r8, r4
11 B looptest
```

Listing 2: Valores iniciales del problema.

```
1 loopstart:
2 LDR r6, [r2, r5]
3 MOV r7, r6
4 MUL r7, r7, r7
5 ADD r8, r8, r7 @resultado en r8
6 ADD r3, r3, #1
7 ADD r5, r5, #4
8
9 looptest:
10 CMP r3, r1
11 BLT loopstart
12 MOV r0, r8
13 BL squareroot
14 B DONE
```

Listing 3: Cálculos intermedios.

```
1  squareroot:
2  MOV r1, #2
3  MOV r3, r0
4  MOV r6, r0
5  MOV r2, #0
6  PUSH {LR}
7  BL divide

8
9  MOV r4, r0
10 whilesqrt:
11  CMP r4, r2
12  BMI donesqrt
13  MOV r0, r6
14  MOV r1, r3
15  BL divide
16  ADD r0,r3,r0
17  MOV r1, #2
18  BL divide
19  MOV r3, r0
20  ADD r2, #1
21  B whilesqrt
22 donesqrt:
23  MOV r0, r3
24  POP {PC}
```

Listing 4: Cálculo de raíz cuadrada.

Ahora veremos la implementación de HYP, que corresponde al ejercicio 1b.

```
1 HYP:  
2 LDR r1, =largo  
3 LDR r1, [r1]  
4  
5 LDR r2, =arreglo  
6 MOV r7, #0  
7 MOV r3, #0  
8 MOV r5, #0  
9 MOV r4, #0  
10 MOV r8, r4  
11 B looptest1  
12  
13 loopstart1:  
14 LDR r6, [r2, r5]  
15 PUSH [r6]  
16 ADD r3, r3, #1  
17 ADD r5, r5, #4
```

Listing 5: Valores iniciales del problema.

```
1 looptest1:  
2 CMP r3, r1  
3 BLT loopstart1  
4 MOV r0, #0  
5 MOV r1, #0  
6 MOV r2, #0  
7 POP {r1, r2}  
8 MUL r1, r1  
9 MUL r2, r2  
10  
11 CMP r1, r2  
12 BGT hypotenuse  
13 CMP r2, r1  
14 BGT side  
15 doneadd:  
16 BL squareroot  
17 B DONE  
18  
19 hypotenuse:  
20 ADD r0, r0, r1  
21 SUB r0, r0, r2  
22 B doneadd  
23  
24 side:  
25 ADD r0, r0, r2  
26 SUB r0, r0, r1  
27 B doneadd
```

Listing 6: Lógica del problema 1b

A continuación la implementación de DISTANCE, la cual viene a solucionar el ejercicio 2

```
1 DISTANCE:  
2 LDR r1, largo  
3 LDR r1, [r1]  
4 LDR r2, arreglo  
5 MOV r3, #0  
6 MOV r5, #0  
7 MOV r4, #0  
8 B looptest2  
9  
10 loopstart2:  
11 LDR r6, [r2, r5]  
12 PUSH {r6}  
13  
14 ADD r3, r3, #1  
15 ADD r5, r5, #4
```

Listing 7: Valores iniciales del problema.

```
1 looptest2:  
2 CMP r3, r1  
3 BLT loopstart2  
4 MOV r0, #0  
5 MOV r1, #0  
6 MOV r2, #0  
7 MOV r3, #0  
8 MOV r4, #0  
9 MOV r5, #0  
10 MOV r6, #0  
11  
12 POP {r4, r3, r2, r1}  
13  
14 SUB r6, r1, r3  
15 SUB r7, r2, r4  
16  
17 MUL r6, r6  
18 MUL r7, r7  
19  
20 ADD r0, r6, r7  
21 BL squareroot  
22 B DONE
```

Listing 8: Valores iniciales del problema.

Y finalmente veremos la implementacion de AVERAGE, para solucionar el ejercicio 3.

```

1  AVERAGE:
2  LDR r1, =largo
3  LDR r1, [r1]
4
5  LDR r2, =arreglo
6  MOV r7, #0
7  MOV r3, #0
8  MOV r5, #0
9  MOV r4, #0
10 MOV r8, r4
11 MOV r9, r4
12 B looptest3
13
14 loopstart3:
15 LDR r6, [r2, r5]
16 MOV r7, r6
17 ADD r8, r8, r7
18 ADD r3, r3, #1
19 ADD r5, r5, #4

```

Listing 9: Valores iniciales del problema.

```

1  looptest3:
2  CMP r3, r1
3  BLT loopstart3
4  MOV r0, r8
5  MOV r7, #0
6  BL divide
7  B DONE
8
9  divide:
10 PUSH {LR}
11 MOV r7, #0
12 CMP r0, #0
13 BEQ iszero
14 MOV r4, #1
15 CMP r0, #0
16 BGE dividestart
17 MOV r4, #0
18 SUB r4, r4, #1
19 MUL r0, r0, r4
20 dividestart:
21 SUB r0, r0, r1 @r0 dividido por r1
22 ADD r7, r7, #1 @resultado en r7
23 CMP r0, r1 @ r0 - r1
24 BPL dividestart
25 MUL r7, r7, r4
26 MOV r0, r7
27 finish:
28 POP {PC}
29 iszero:
30 B finish
31 DONE:
32 MOV r2, r0
33 MOV r0, #20
34 MOV r1, #3
35 BL printInt
36 WFI
37 .end

```

Listing 10: Lógica del problema 1b

4. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos con casos de prueba

- Modo 1: 1a

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 1
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 3, 4
LCD

```

Figura 2: Prueba 1, Modo 1 para catetos de largo 3 y 5

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 1
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 5, 12
LCD

```

Figura 3: Prueba 2, Modo 1 para catetos de largo 5 y 12

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 1
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 8, 15
LCD

```

Figura 4: Prueba 3, Modo 1 para catetos de largo 8 y 15

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 1
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 24, 7
6
```

LCD



The LCD display shows the number 25 in black text on a green background. The display has a black border and a grid pattern.

Figura 5: Prueba 4, Modo 1 para catetos de largo 24 y 7

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 1
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 21, 20
6
```

LCD



The LCD display shows the number 29 in black text on a green background. The display has a black border and a grid pattern.

Figura 6: Prueba 5, Modo 1 para catetos de largo 21 y 20

■ Modo 2: 1b

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 2
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 3, 5
6
```

LCD



The LCD display shows the number 4 in black text on a green background. The display has a black border and a grid pattern.

Figura 7: Prueba 6, Modo 2 para cateto de largo 3 e hipotenusa de largo 5

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 2
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 13, 5
6
```

LCD

The LCD display shows a green rectangular area with a black border. Inside, the numbers "1" and "2" are displayed in white. The display is set against a light gray background.

Figura 8: Prueba 7, Modo 12 para cateto de largo 5 e hipotenusa de largo 13

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 2
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 8, 15
6
```

LCD

The LCD display shows a green rectangular area with a black border. Inside, the numbers "1" and "2" are displayed in white. The display is set against a light gray background.

Figura 9: Prueba 8, Modo 2 para cateto de largo 8 e hipotenusa de largo 15

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 2
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 17, 8
6
```

LCD

The LCD display shows a green rectangular area with a black border. Inside, the number "15" is displayed in white. The display is set against a light gray background.

Figura 10: Prueba 9, Modo 2 para cateto de largo 8 e hipotenusa de largo 17

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 2
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 25, 24
6
LCD
```



Figura 11: Prueba 10, Modo 2 para cateto de largo 24 e hipotenusa de largo 25

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 2
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 20, 29
6
LCD
```



Figura 12: Prueba 11, Modo 2 para cateto de largo 20 e hipotenusa de largo 29

- Modo 3: 2

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 3
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 1, 1, 4, 5
6
LCD
```

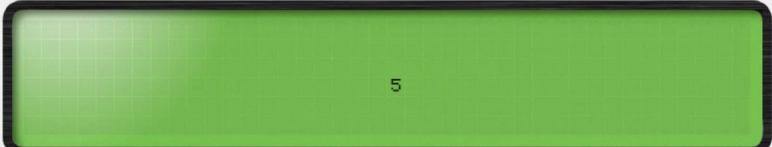


Figura 13: Prueba 12, Modo 3 para distancia entre los puntos (1, 1) y (4, 5)

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 3
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 4, 2, 12, 0
```

LCD



8

Figura 14: Prueba 13, Modo 3 para distancia entre los puntos (4, 2) y (12, 0)

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 3
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 11,13, 6, 9|
```

LCD



6

Figura 15: Prueba 14, Modo 3 para distancia entre los puntos (11, 13) y (6, 9)

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 3
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 4,20, 6, 9
```

LCD



11

Figura 16: Prueba 15, Modo 3 para distancia entre los puntos (4, 20) y (6, 9)

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 3
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 2,8, 3, 9
```

LCD



The LCD screen displays the number '1' in black text on a green background.

Figura 17: Prueba 16, Modo 3 para distancia entre los puntos (2,8) y (3,9)

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 3
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 0,0, 5, 5|
```

LCD



The LCD screen displays the number '7' in black text on a green background.

Figura 18: Prueba 17, Modo 3 para distancia entre los puntos (0,0) y (5,5)

■ Modo 4: 3

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 4
5 arreglo: .word 1,2, 3, 4
```

LCD



The LCD screen displays the number '2' in black text on a green background.

Figura 19: Prueba 18, Modo 4 para los números 1, 2, 3, 4

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 5
5 arreglo: .word 75, 79, 87, 73, 0
```

LCD

The LCD display shows the number "6 2" in a black font on a green background. The display has a black border and a grid pattern.

Figura 20: Prueba 19, Modo 4 para los números 75, 79, 87, 73, 0

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 7
5 arreglo: .word 5, 9, 30, 24, 60, 100, 2
```

LCD

The LCD display shows the number "3 2" in a black font on a green background. The display has a black border and a grid pattern.

Figura 21: Prueba 20, Modo 4 para los números 5, 9, 30, 24, 60, 100, 2

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 2
5 arreglo: .word 50, 100
```

LCD

The LCD display shows the number "7 5" in a black font on a green background. The display has a black border and a grid pattern.

Figura 22: Prueba 21, Modo 4 para los números 50, 100

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 1
5 arreglo: .word 50
```

LCD

The LCD display shows the number 5 followed by a space and 0.

Figura 23: Prueba 22, Modo 4 para el número

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 3
5 arreglo: .word 33, 45, 240
```

LCD

The LCD display shows the numbers 1, 0, and 6 separated by spaces.

Figura 24: Prueba 23, Modo 4 para los números 33, 45, 240

```
1 @INGRESAR INPUT AQUI
2 .data
3 modo: .int 4
4 largo: .word 5
5 arreglo: .word -6, -10, 4, 5, 7
```

LCD

The LCD display shows the number 0.

Figura 25: Prueba 24, Modo 4 para los números -6, -10, 4, 5, 7



Figura 26: Prueba 25, Modo 4 para los números -6, -10, 4, 5, -4

5. Análisis

A continuación se discuten con más detalle los resultados obtenidos en la sección anterior

- Prueba 1: Los catetos tienen valores 4 y 3, por lo que el valor de la hipotenusa sería $\sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 2: Los catetos tienen valores 5 y 12, por lo que el valor de la hipotenusa sería $\sqrt{5^2 + 12^2} = \sqrt{169} = 13$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 3: Los catetos tienen valores 4 y 3, por lo que el valor de la hipotenusa sería $\sqrt{8^2 + 15^2} = \sqrt{289} = 17$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 4: Los catetos tienen valores 24 y 7, por lo que el valor de la hipotenusa sería $\sqrt{24^2 + 7^2} = \sqrt{625} = 25$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 5: Los catetos tienen valores 21 y 20, por lo que el valor de la hipotenusa sería $\sqrt{21^2 + 20^2} = \sqrt{841} = 29$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 6: El cateto tiene valor 3 y la hipotenusa largo 5 por lo que el cateto restante sería $\sqrt{5^2 - 3^2} = \sqrt{16} = 4$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 7: El cateto tiene valor 5 y la hipotenusa largo 13 por lo que el cateto restante sería $\sqrt{13^2 - 5^2} = \sqrt{144} = 12$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 8: El cateto tiene valor 8 y la hipotenusa largo 15 por lo que el cateto restante sería $\sqrt{15^2 - 8^2} = \sqrt{161} \approx 12,688$. Entonces el resultado es correcto

- Prueba 9: El cateto tiene valor 8 y la hipotenusa largo 17 por lo que el cateto restante sería $\sqrt{17^2 - 8^2} = \sqrt{225} = 15$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 10: El cateto tiene valor 24 y la hipotenusa largo 25 por lo que el cateto restante sería $\sqrt{25^2 - 24^2} = \sqrt{49} = 7$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 11: El cateto tiene valor 20 y la hipotenusa largo 29 por lo que el cateto restante sería $\sqrt{17^2 - 8^2} = \sqrt{441} = 21$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 12: La distancia sería $\sqrt{(1 - 4)^2 + (1 - 5)^2} = 5$ Entonces el resultado es correcto
- Prueba 13: La distancia sería $\sqrt{(4 - 12)^2 + (2 - 0)^2} \approx 8.246$ Entonces el resultado es correcto
- Prueba 14: La distancia sería $\sqrt{(11 - 6)^2 + (13 - 9)^2} \approx 6.403$ Entonces el resultado es correcto
- Prueba 15: La distancia sería $\sqrt{(4 - 6)^2 + (20 - 9)^2} \approx 11.18$ Entonces el resultado es correcto
- Prueba 16: La distancia sería $\sqrt{(2 - 3)^2 + (8 - 9)^2} \approx 1.41$ Entonces el resultado es correcto
- Prueba 17: La distancia sería $\sqrt{(0 - 5)^2 + (0 - 5)^2} \approx 7.07$ Entonces el resultado es correcto
- Prueba 18: El promedio de los valores sería $\frac{1+2+3+4}{4} \approx 2.5$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 19: El promedio de los valores sería $\frac{75+79+87+73+0}{5} \approx 62.8$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 20: El promedio de los valores sería $\frac{5+9+38++24+60+100+2}{7} \approx 32.857$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 21: El promedio de los valores sería $\frac{50+100}{2} = 75$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 22: El promedio de los valores sería $\frac{50}{1} = 50$. Entonces el resultado es correcto

- Prueba 23: El promedio de los valores sería $\frac{33+45+240}{3} = 106$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 24: El promedio de los valores sería $\frac{-6-10+4+5+7}{5} = 0$. Entonces el resultado es correcto
- Prueba 25: El promedio de los valores sería $\frac{-6-10+4+5-4}{5} = -2.2$. Entonces el resultado es correcto

6. Conclusión

Tomando en consideracion todo lo expuesto anteriormente, se puede decir que el objetivo de la tarea fue logrado, dado que se logró entender y simular el funcionamiento de un procesador utilziando el lenguaje de ensamblador ARM Assembly como se puede ver en el desarrollo mostrado. Se obtuvieron buenos resultados en la tarea, ya que no falla en ningún caso de prueba y todos los resultados son mostrados por la pantalla LCD como se solicitaba. Dado lo anterior, podemos decir que la tarea fue realizada en un 100 %.