



Simulador de Arquitecturas Q

Susana Rosito

Tatiana Molinari

12 de noviembre de 2013

Índice

I Contexto	4
1. Sobre la materia Organización de Computadoras	4
2. Conceptos importantes	5
2.1. Enfoque de Von Neumann	5
2.2. Organización de la computadora	5
2.3. Ejecución de un programa	7
3. Estado del arte	8
4. Arquitecturas Q	8
II Simulador QSim	8
5. Funcionalidad del simulador	9
5.1. Chequeo de sintaxis	10
5.2. Ensamblado	10
5.3. Cargado en memoria	10
5.4. Ejecución paso a paso	11
6. Implementación	12
6.1. Tecnología utilizada	12
6.2. Diseño Orientado a Objetos	12
6.2.1. ALU	12
6.2.2. Bus de entrada y salida, memoria y puertos	12
6.2.3. CPU	12
6.2.4. Intérprete	13
6.2.5. Modos de direccionamiento y W16	13
6.2.6. Instrucciones	15
6.2.7. Programa	17
6.2.8. Simulador	17
III Evaluación del desarrollo	17
7. Dificultades encontradas	18
7.1. Dificultades presentadas por el dominio	18
7.2. Dificultades de diseño	19
8. Casos de prueba	20
8.1. Chequeo de sintaxis en la distintas Qi	20
8.2. Ensamblado	20
8.3. Decodificación	21
8.4. Ejecución	21
8.4.1. Operaciones de ALU	22
8.4.2. Búsqueda de Operandos	22

8.4.3. Almacenamiento de Operandos	22
9. Ejemplos de uso	22
10.Trabajo Futuro	23
 IV Apéndices	 24
A. Especificación de la arquitectura Q	24
A.1. Características generales	24
A.2. Modos de direccionamiento	24
A.3. Repertorio de instrucciones	26
A.3.1. Instrucciones de 2 operandos	26
A.3.2. Instrucciones de 1 operando origen	27
A.3.3. Instrucciones de 1 operando destino	27
A.3.4. Instrucciones sin operandos	27
A.3.5. Instrucciones de salto condicional (falta revisar Mara) . .	28
 B. Como utilizar el simulador	 29
C. Errores comunes	29

Resumen

Una de las primeras asignaturas que debe recorrer un estudiante de la Tecnicatura Universitaria en Programación Informática es **Organización de Computadoras**. En esta materia los estudiantes descubren los componentes funcionales que conforman un sistema de cómputos, con el fin de comprender un modelo de ejecución de programas que está presente hoy en día en la mayoría de las computadoras personales.

Este trabajo es el desarrollo de una herramienta que permite simular la ejecución de programas en una arquitectura teórica desarrollada por el equipo docente de la materia.

En este documento se presenta primero información contextual que incluye conceptos importantes y el enfoque de la materia. Luego se detalla la funcionalidad del simulador y como es el diseño orientado a objetos, siguiendo por un apartado donde se realiza un análisis del desarrollo, incluyendo el diseño de los casos de prueba. Finalmente se incluyen anexos con detalles de la arquitectura QArq, y los errores comunes en el uso del simulador.

Parte I

Contexto

1. Sobre la materia Organización de Computadoras

Si bien los conceptos fundamentales de la ejecución de programas son independientes de las arquitecturas de computadoras comerciales, es conveniente explicar los mismos dando un marco específico. Por otro lado, las diferentes arquitecturas que subyacen los numerosos modelos disponibles en el mercado, incluyen un basto conjunto de herramientas y recursos de lenguaje para el control del funcionamiento de una computadora, pero que agregan complejidad innecesaria a la comprensión de los conceptos funcionales y la didáctica de la materia.

La propuesta de la asignatura Organización de Computadoras es utilizar la arquitectura QArq, una arquitectura *assembly-like* teórica (esto es, que no existe una computadora real que la implemente) basada en el modelo de ejecución de Von Neumann y cuya característica principal es la de ser minimalista y presentarse en 'capas'. Este enfoque permite ir incorporando los conceptos de manera gradual a partir de versiones escalonadas de la arquitectura, denominadas Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 , Q_5 y Q_6 .

Actualmente, la arquitectura se presenta a los estudiantes mediante especificaciones formales que deben analizar y comprender para utilizar el lenguaje de programación y resolver los problemas que se les plantean en la práctica. Entendemos que les resulta de gran utilidad incorporar una herramienta que les permita probar sus ejercicios de una manera automatizada y es por eso que se desarrolló un simulador para esta arquitectura.

2. Conceptos importantes

2.1. Enfoque de Von Neumann

El matemático John Von Neumann en el año 1945 se encontraba colaborando en el proyecto ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*, primer computadora electrónica de propósito general, diseñada para ser utilizada por el ejército norteamericano. La ENIAC podía ser programada para realizar operaciones complejas e incluso decisiones, interacciones y subrutinas, pero la tarea de resolver un problema y volcarlo en la máquina era tan complejo que podía tomar semanas. Luego que el programa era diseñado en papel, el proceso de representarlo en la máquina ENIAC mediante la manipulación de cables e interruptores tomaba varios días. Entonces Von Neumann se comenzó a interesar por la problemática que significaba la necesidad de reconfigurar la máquina para cada nueva tarea y tan sólo cuatro años más tarde propone y desarrolla una solución a este problema que se basaba en almacenar la información sobre las operaciones a realizar en la misma memoria utilizada para los datos, a partir de su codificación en código binario al igual que los datos.

Además, este enfoque generaliza la organización de las computadoras distinguiendo en tres partes interconectadas: La CPU (con la unidad aritmético-lógica o ALU y la unidad de control) la memoria, y un módulo de entrada/salida. La interconexión es llevada a cabo por un bus de sistema que proporciona un medio de transporte de los datos entre las distintas partes.

Con la propuesta de este modelo, Von Neumann incorpora el concepto de **programa almacenado** en memoria. Con esta idea, el programa se codifica de cierta manera para que pueda ser almacenado en memoria principal y posteriormente pueda ser ejecutado quizás múltiples veces. De esta manera, la lógica del programa puede ser "recordada" y el programa toma un valor mayor, a diferencia de lo que ocurría hasta entonces, donde el programa se reflejaba en un conjunto de configuraciones de cables aplicadas a los equipos. Esto implica una separación entre el mecanismo de ejecución (el *hardware*) y la lógica de cómputo o instrucciones (el *software*). La codificación en binario de las instrucciones de un programa se denomina **código máquina**.

Por otro lado este tipo de diseño, que permite un programa almacenado, también da la posibilidad de que la ejecución de las instrucciones modifique el código máquina del mismo u otro programa. Por ejemplo un programa podría modificar o incrementar las referencias a las direcciones de memoria que tenga en algunas instrucciones y luego volver a ejecutar dichas instrucciones con el fin de procesar celdas diferentes de memoria cada vez. Esta característica es potente pero presenta un alto riesgo pues las modificaciones en los programas podía ser algo perjudicial, por accidente o por diseño.

2.2. Organización de la computadora

La CPU (Unidad Central de Procesamiento del inglés: Central Processing Unit), es el componente principal y el encargado ejecutar los programas y procesar los datos. La CPU contiene otros componentes de importancia tales como

la Unidad de Control, algunos registros de uso específico como el contador de programa (PC o *Program Counter*), el registro de instrucción (IR - *Instruction Register*) y el Puntero de pila (SP - *Stack pointer*), otros registros de uso general y la Unidad Aritmético-Lógica (ALU).

La Unidad de Control dirige el ciclo de ejecución de cada instrucción, pidiendo la lectura de celdas de memoria donde esta alojada, decodificándola y ejecutándola luego en colaboración con los otros componentes del sistema: si es una operación lógica o aritmética le ordena a la ALU su ejecución, si es de movimiento de datos colabora con la memoria ó el módulo de Entrada/Salida.

Entre los registros de uso específico, los más importantes son el **Contador de programa**, el **registro IR**, el **Puntero de pila** y los **Flags**. El Contador de programa es un registro que indica la posición de memoria donde estará la siguiente instrucción que debe ejecutarse. Luego de completar el ciclo de ejecución de una instrucción, el PC se incrementa en función de la cantidad de celdas que ocupa el código máquina de esta. El registro de instrucción, **registro IR**, contiene el código máquina de la instrucción actual una vez que la misma es leída de memoria para luego decodificarla y ejecutarla. El Puntero de pila es un registro que indica la posición de memoria donde está el dato que representa a la última dirección de memoria que fue guardada al llamar a una sub-rutina, para que cuando esta termine, el programa pueda seguir ejecutandose a partir de ese punto. Los Flags representan características del último computo realizado como si el resultado fue negativo, cero, etc.

El diseño de cada arquitectura ofrece un conjunto diferente de registros de uso general para ser usados en los programas. Estos registros son elementos de memoria de alta velocidad y poca capacidad que pueden ser utilizados como variables en los programas. Es importante marcar que pueden almacenar tanto datos como direcciones de memoria.

La Unidad Aritmético-Lógica, recibe su nombre de las siglas en inglés de *Arithmetic and Logic Unit*. La ALU es un circuito digital que lleva a cabo operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación, división) y las operaciones lógicas como la negación, disyunción, conjunción, etc, entre dos cadenas binarias que son interpretadas como números o valores lógicos.

La memoria es un conjunto de celdas numeradas. La numeración de cada celda la identifica inequívocamente por lo cual a esta numeración se le llama dirección. En cada celda de la memoria se pueden almacenar datos o instrucciones en forma de cadenas binarias y este contenido puede leerse y modificarse. En la memoria es donde se alojan los programas que luego serán ejecutados.

El bus de sistema es el encargado de transferir los datos entre los componentes de la computadora..La unidad de control al pedir un contenido de una dirección de memoria lo hace a través del bus, y similarmente mismo cuando desea escribir en memoria, y lo hace a partir de que la Unidad de Control pide la lectura o escritura de celdas de memoria o puertos de entrada/salida.

2.3. Ejecución de un programa

La función de una computadora es la ejecución de programas. Los programas se encuentran almacenados en memoria y consisten en una secuencia de instrucciones y es la Unidad de Control es quien se encarga de ejecutar dichas instrucciones implementando un **ciclo de ejecución de instrucción**. Para ser almacenadas en memoria, las instrucciones deben codificarse en cadenas binarias (secuencias de ceros y unos) que no son legibles para las personas pero son tales que la Unidad de Control las puede interpretar y traducir en acciones. Por eso para saber de qué instrucción se trata, y cuáles son los valores o variables (celdas de memoria o registros) que están involucrados, la Unidad de Control toma el código máquina de la instrucción y verifica los códigos de operación y modos de direccionamiento. La ejecución de instrucciones se divide en tres etapas importantes:

1. búsqueda de instrucción
2. decodificación de la instrucción
3. ejecución de la instrucción

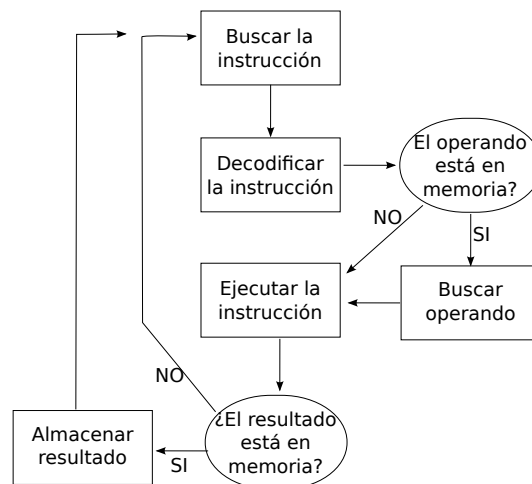


Figura 1: ciclo de ejecución de instrucción

Al principio de cada ciclo de ejecución de instrucción se lleva a cabo la búsqueda de instrucción durante la cual se leen las celdas que contienen el código máquina de la instrucción y para lo cual se utiliza el Contador de programa que mantiene la dirección de la siguiente instrucción a ejecutar. El código máquina de la instrucción leída que está en la forma de cadena binaria se carga dentro de otro registro de la CPU, llamado registro de instrucción (IR).

Durante la decodificación de la instrucción, la Unidad de Control determina que operación se debe llevar a cabo, y finalmente durante la ejecución de la instrucción la Unidad de Control realiza el efecto esperado para esa operación, buscando los operandos y modificando la memoria o los registros como resultado final y el ciclo vuelve a comenzar.

3. Estado del arte

A través de los años de la carrera Tecnicatura Universitaria en Programación Informática, en la materia Organización de Computadoras se analizaron distintos enfoques y herramientas para desarrollar los conceptos relacionados a la ejecución de programas en una computadora.

Inicialmente se utilizó un simulador de código abierto para la arquitectura Intel 8085, que ofrecía una funcionalidad bastante completa, pero una interfaz que no resultaba del todo intuitiva. Este simulador se eligió por tratarse de un lenguaje assembler mas reducido, con un repertorio de instrucciones y modos de direccionamiento mas pequeño que contaba con un entorno de prueba (el simulador propiamente dicho) para facilitar la didáctica de la programación en lenguaje ensamblador, pero posteriormente se entendió que las características de la arquitectura no eran las adecuadas para la enseñanza de los contenidos y se descartó.

Entonces el equipo docente eligió definir una arquitectura teórica que proveyera solamente lo necesario para cumplir con los objetivos de la materia e inspirados en un caso similar de la Universidad de Buenos Aires, se definió la arquitectura **QARQ**, muy similar a la que se presenta en la sección A

Posteriormente, el equipo docente propuso un cambio en la secuencia didáctica que requirió la división de la especificación de la arquitectura QARQ en varias partes, donde cada una recibe el nombre de **Arquitectura Qi** y agrega una nueva funcionalidad (instrucciones o modos de direccionamientos) a la versión anterior, construyendo una arquitectura en capas. Sin embargo todos los ejercicios de las arquitecturas Qi se siguen haciendo en papel.

Actualmente se busca incorporar el **Simulador Qsim** en la materia con el objetivo de que los alumnos puedan visualizar el funcionamiento de una computadora al mas mínimo detalle, a través de la ejercitación del ciclo de ejecución de instrucción.

4. Arquitecturas Q

Las versiones de la arquitectura Q están pensadas para incorporar funcionalidades de manera que la curva de aprendizaje sea adecuada para los alumnos, siendo paulatina e incremental, es decir, cada arquitectura Q_{i+1} agrega más funcionalidad (ya sean instrucciones nuevas o modos de direccionamiento) a la arquitectura Q_i anterior (ver figura 2)

Parte II

Simulador QSim

El simulador desarrollado es una herramienta de utilización sencilla ya que se asume que los alumnos de esta materia están en la etapa inicial de la carre-

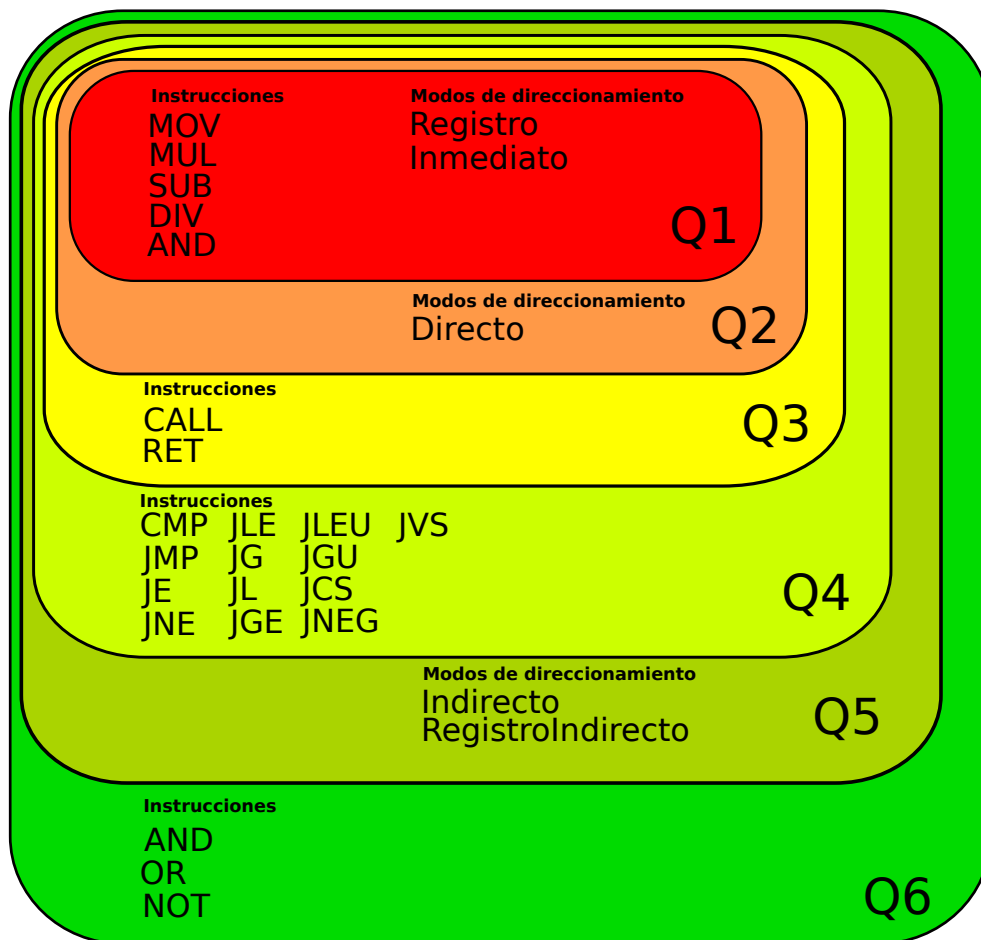


Figura 2: Organización en capas de la arquitectura QArq

ra y se pretende transmitir los conceptos sin distraerlos con detalles de uso y configuración.

5. Funcionalidad del simulador

La funcionalidad del simulador puede caracterizarse mediante las siguientes partes importantes:

- Chequeo de sintaxis de los programas escritos en el lenguaje Q
- Ensamblado del código fuente de un programa en su correspondiente código máquina
- Cargado en memoria del código máquina
- Ejecución paso a paso de un programa cargado en memoria

5.1. Chequeo de sintaxis

El simulador provee al alumno de un editor de texto en el cual escribirá el programa en un lenguaje Qi, que desea cargar en memoria y ejecutar. Una vez que el usuario haya terminado la escritura, al momento de cargar el programa, el simulador utilizará un *parser*¹ para detectar errores de sintaxis, tales como la falta de una coma o un corchete, o la presencia de símbolos que no pertenecen al lenguaje (como por ejemplo signos de pregunta y símbolos matemáticos); o bien errores semánticos como la combinación incorrecta de elementos del lenguaje, por ejemplo: modos de direccionamiento mal ubicados. El parser solo revisará lo escrito por el alumno y de acuerdo a las gramática del lenguaje, mostrará alguno de los siguientes estados:

OK Este mensaje se obtiene cuando no hubo ningún error de sintaxis. Si se da este resultado, es posible continuar con el ensamblado y cargado en memoria.

SyntaxError Este mensaje de error se obtiene cuando en alguna línea del programa se detectó algún error de sintaxis o de semántica, como se describió arriba. Cuando ocurre este error se lo acompaña con una descripción lo mas detallada posible para que el alumno detecte donde ocurrió y pueda corregirlo. Un programa con errores no puede ser ensamblado y cargado en memoria.

5.2. Ensamblado

Una vez que el programa es sintácticamente válido es posible traducir el código fuente del programa en código máquina (representado en cadenas binarias). Para esto se respeta un formato de instrucción que indica cómo se codifica cada operación y los operandos.

Mas detalle al respecto de este proceso en el apéndice A.

5.3. Cargado en memoria

Una vez ensamblado, la representación binaria (o código máquina) del programa será cargado en memoria a partir de una ubicación (celda de memoria) que el alumno puede elegir. Esto permite visualizar el contenido de la memoria (con el programa cargado) y el estado de los registros de la CPU.

Durante la carga del programa en memoria puede ocurrir que el programa no cuente con el espacio suficiente a partir de la ubicación elegida ya que ocupa más celdas que las que se encuentran disponibles, ya que como se especifica en el apéndice A, la memoria disponible tiene un tamaño limitado y por este motivo la alocaión en memoria del código máquina puede exceder el espacio disponible a partir de la celda inicial anteriormente elegida. Si por el contrario, no se produce este error, el alumno podrá ver el programa cargado en memoria exitosamente.

¹Un parser (o analizador sintáctico) es una de las partes del compilador que transforma su entrada de texto plano en este caso a objetos del modelo.

5.4. Ejecución paso a paso

Se provee la funcionalidad de la ejecución paso a paso ya que se desea que el alumno pueda experimentar y así comprender los pasos del ciclo de ejecución de instrucción. El paso a paso que provee el simulador consiste en las siguientes etapas pertenecientes al ciclo de ejecución de instrucción:

1. **Búsqueda de instrucción:** El alumno podrá visualizar el valor que contiene PC (Program counter) donde se encuentra la dirección de la celda en memoria que contiene la próxima instrucción a ejecutar (por ejemplo, en caso de ser la primera instrucción del programa recién cargado, el pc tendrá la dirección de memoria elegida por el alumno para iniciar el cargado del programa en memoria). El simulador, toma de la memoria el código máquina correspondiente a la instrucción que comienza en esa dirección tomada de PC (una instrucción puede ocupar más de una celda de memoria) y los guarda en el registro IR (*Instruction Register*). Será observable también para el alumno el incremento del registro PC, tanto como celdas ocupe la instrucción actual, lo que conceptualmente es, preparar el contexto de ejecución para tomar la siguiente instrucción.
2. **Decodificación:** En la decodificación el interprete se encarga de desensamblar el código máquina (abreviado en hexadecimal) que ya fue ubicado en el registro IR para mostrar el código fuente de la instrucción actual con sus respectivos operandos. Si el programa escrito por el alumno es sintácticamente y conceptualmente correcto, este paso le permite comprobar que la instrucción actual es la que él mismo escribió y no otra, visualizándola en pantalla.

La decodificación con desensamblado, es decir con la reconstrucción del código fuente, permite al alumno experimentar otros escenarios y efectos laterales, entre los cuales podemos enumerar:

- Si la ejecución paso a paso excede los límites del programa, pueden tomarse instrucciones de otra rutina y procesarse como una nueva instrucción.
- Si en cambio, se intenta ejecutar el contenido de una celda con datos (y no una instrucción) podrá ocurrir que se encuentre una instrucción inválida (por ejemplo, una combinación incorrecta de modos de direccionamiento y códigos de operación) y el alumno verá el mensaje de error pertinente.
- Que el programa sobrescriba su mismo código máquina.

Más detalle de estas situaciones en la sección 9.

3. **Ejecución** La ejecución lleva a cabo los efectos de la instrucción y muestra en pantalla los cambios en el estado de ejecución: contenidos de memoria, puertos, registros y flags. Esto quiere decir que es en esta etapa cuando se lleva a cabo el almacenamiento de resultados que, si es necesario, guardará el valor resultante de la operación descrita por la instrucción en el operando destino. Esto cambiará el valor de una celda de memoria o de un registro y será visto en pantalla por el alumno.

6. Implementación

6.1. Tecnología utilizada

En la presente sección se indica la tecnología elegida para la implementación del simulador, justificando dichas elecciones en cada caso.

- **Lenguaje Scala.** Elegimos el lenguaje Scala para realizar el simulador ya que durante las cursadas de las asignaturas de TPI no tuvimos la oportunidad de profundizar el dominio de este lenguaje ni aprovechar las ventajas que este ofrecía al combinar el manejo de objetos y las características de un lenguaje funcional. Es por ello que descartamos la elección de un lenguaje con el que estábamos mas familiarizadas, como por ejemplo Java.
- **Framework Arena.** Utilizamos el framework Arena para realizar la interfaz de usuario del simulador porque es una herramienta de código abierto que tuvimos la oportunidad de conocer en la materia Diseño de Interfaces de Usuario. Al poder ser combinado con **Scala** nos pareció una buena oportunidad de explotar lo que nos ofrecía para simplificar la definición de la interfaz de usuario, permitiéndonos así enforcarnos en la implementación del modelo.
- **Eclipse.** Se eligió utilizar el entorno de programación Eclipse ya que es una herramienta multiplataforma, lo que nos permitió trabajar en diferentes sistemas operativos y con la cual estábamos familizadas. Por otro lado, la comunidad provee pluggins para manejar proyectos para Scala.
- **Git** Elegimos git como repositorio externo para trabajar colaborativamente durante el desarrollo, dado que es una herramienta que muy extendida en los desarrollos de software libre.

6.2. Diseño Orientado a Objetos

6.2.1. ALU

Como se observa en la figura 3 la ALU tiene toda la responsabilidad en la ejecución de operaciones matemáticas y lógicas, además del cómputo de los flags luego de cada operación.

6.2.2. Bus de entrada y salida, memoria y puertos

Como se observa en la figura 4 el Bus de entrada y salida tiene la responsabilidad de derivar según donde corresponda (Memoria o Puertos) la escritura o lectura de un dato. Para ello conoce a una instancia de la clase Memoria y a otra de la clase CeldasPuertos. Ambas clases conocen una colección de instancias de la clase Celda, y cada Celda a su vez conoce un dato: una instancia de la clase W16 que representa al dato almacenado en una celda de memoria o en un puerto.

6.2.3. CPU

Como se observa en la figura 5, la CPU conoce a la ALU, contiene los registros IR y PC, los flags (V,Z,C,N) y los ocho registros de uso general (R0...R7).

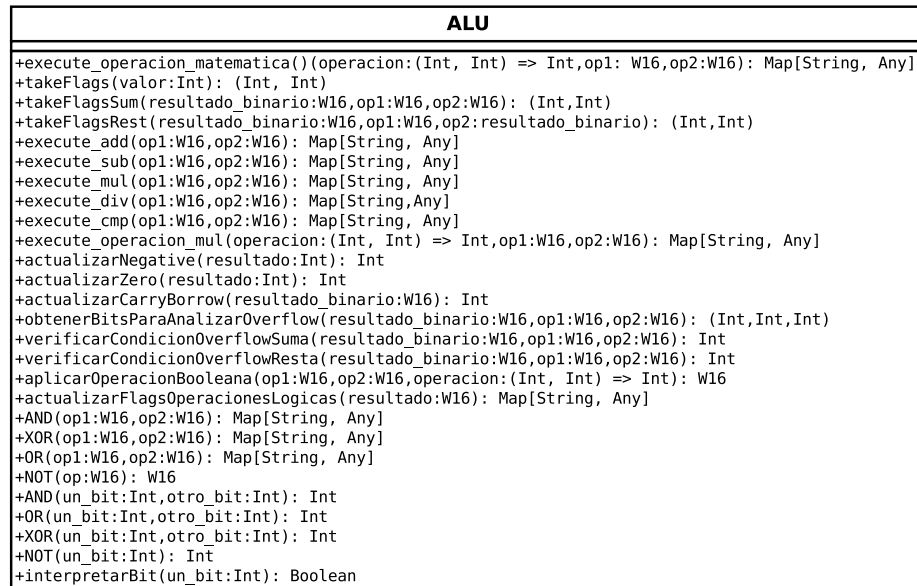


Figura 3: Diagrama de clase de la Unidad Aritmético-Lógica

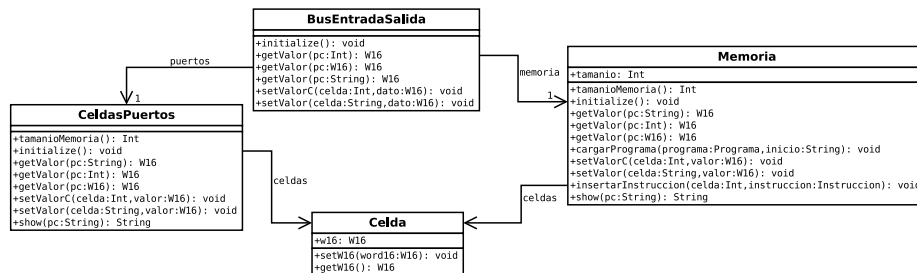


Figura 4: Diagrama de las clases de la BusEntradaSalida, Memoria, CeldasPuentes y Celda

La responsabilidad de la CPU es actualizar los flags, los registros, actualizar el PC y el IR, y ser la conexión con la ALU.

6.2.4. Intérprete

Como se observa en la figura 6 el Intérprete es un *singleton* que tiene la entera responsabilidad de construir un objeto que representa una instrucción determinada a partir de la decodificación de las celdas de memoria que ocupa su código máquina. Se ocupa de la decodificación de la instrucción.

6.2.5. Modos de direccionamiento y W16

Esta jerarquía de clases permite controlar el acceso a los operandos, mediante un objeto ModoDireccionamiento que controla el acceso a un objeto W16, que es quien contiene el valor propiamente dicho. Como se observa en la figura 7 los modos de direccionamiento extienden del

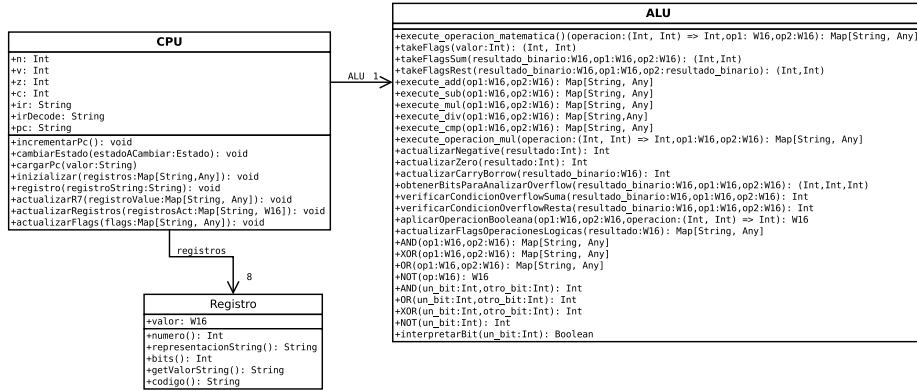


Figura 5: Diagrama de clase de la CPU

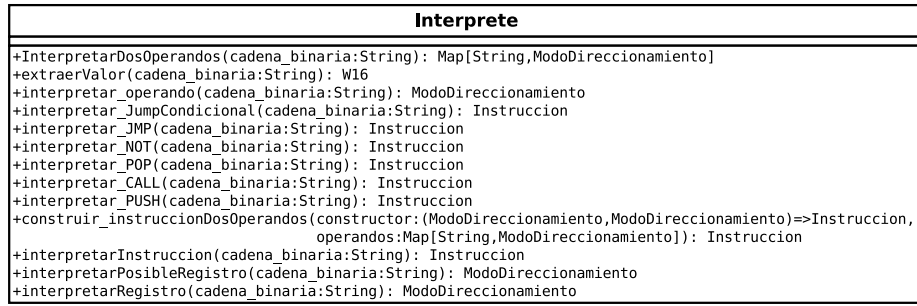


Figura 6: Diagrama de clase del Interprete

Parte III

Evaluación del desarrollo

7. Dificultades encontradas

7.1. Dificultades presentadas por el dominio

Las dificultades del dominio estuvieron relacionadas a la comprensión no solamente del modelo de arquitectura Q si no también a su propósito didáctico, ya que el objetivo del simulador no es solamente la simulación de la arquitectura y la ejecución de programas, sino también el proveer a los alumnos la capacidad de ejercitar situaciones conceptualmente erróneas, por lo que se requería una comprensión didáctica del problema más allá de la especificación de las arquitecturas Q.

7.2. Dificultades de diseño

En primera instancia se optó por implementar un modelo de objetos que utilizaba un objeto de la clase **Programa** a lo largo de toda la ejecución. Esto permitía evitar la lectura de la memoria principal para obtener las instrucciones

a ejecutar, solicitando cada instrucción al objeto de la clase Programa, sobreviviendo así las distintas etapas una vez que fue creado por el *parser*. Este enfoque evitaba la necesidad de un objeto que tuviera que interpretar el código máquina alojado en la memoria, evitaba la nueva creación de instancias de la clase **Instrucción** y simplificaba en gran medida el modelo ya que la memoria era sólo una clase que contenía datos que se reflejaban en pantalla y no se la utilizaba en el la búsqueda de instrucciones. Luego entendimos que un programa no sólo podía modificar su entorno al ser ejecutado (otras celdas de memoria que no ocupen su código máquina, celdas de puertos, registros, etc) si no que también podría sobrescribir su código máquina (ya sea con ese propósito o sólo por un error conceptual), o bien, que el alumno debía tener la posibilidad de seguir ejecutando más allá del código máquina alojado en memoria o más. A partir de eso fue necesario corregir gran parte del modelo agregando una clase denominada **Intérprete**, cuya responsabilidad es interpretar la siguiente instrucción alojada en memoria para que luego sea ejecutada, otorgando más responsabilidad a la clase **Memoria** y descartando el objeto instancia de **Programa** una vez que éste es cargado en memoria con éxito.

Por otro lado, tuvieron que solicitarse extensiones al equipo de desarrolladores de Arena para poder implementar la interfaz del simulador utilizando dicho framework. Entre dichas extensiones podemos enumerar:

- **FileSelector**: que permite la carga de archivos de código fuente.
- **CodeEditor** (O actualmente llamado KeywordTextArea): Es un área en la ventana donde se visualiza el el código fuente de los programas una vez que han sido elegidos del navegador de archivos.
- **Bindings** contra el background de componentes y celdas de una tabla, para permitir la visualización de cambios de colores en la memoria a partir de que se recorren las celdas del programa o se realiza algún cambio en el contenido de una celda.
- **TextBox multiline** es un area de texto que puede navegarse (utilizando el *scroll*) para ser utilizado como consola de devolución.
- Icono para la aplicación, solo por cuestiones estéticas.

8. Casos de prueba

En esta sección se describen los casos de prueba de la aplicación realizados para ilustrar el alcance de la aplicación y su robustez.

8.1. Chequeo de sintaxis en la distintas Qi

El chequeo de sintaxis de cada versión de la **Arquitectura Q** se lleva a cabo procesando algunos programas con el *parser*, y con este objetivo se confeccionaron dos casos de prueba por cada Qi:

1. Chequear programa Qi válido

Se utiliza como parámetro para el objeto de la clase **Parser** un programa Q_i válido, es decir que es sintácticamente correcto en la arquitectura Q_i , y éste comprobará la sintaxis del programa acorde a la arquitectura Q_i seleccionada. Por ejemplo, un programa sintácticamente válido en Q_6 puede no ser sintácticamente válido en Q_1 si utiliza modos de direccionamiento o instrucciones que Q_1 no incluye. Al terminar de chequear el programa, el objeto **Parser** retorna un objeto instancia de la clase **Programa** con la lista de instrucciones que fueron ensambladas. Se toma dicho resultado y como ultimo paso se compara con el programa esperado (que concuerda en objetos con el programa en código fuente escrito en el input).

2. Chequear programa Q_i es invalido

Se utiliza como parámetro para el objeto de la clase **Parser** un programa Q_i inválido, y el parser este comprobará la sintaxis del programa acorde a la arquitectura Q_i seleccionada. Al terminar de chequear el programa, el objeto **parser** retorna un objeto de la clase **Exception** del tipo **SyntaxErrorException**, se captura la excepción y se toma de ella el mensaje de error para corroborar que sea el mensaje esperado (que describe la línea donde esta el error de sintaxis).

8.2. Ensamblado

Para poder verificar que el ensamblado se realiza correctamente se toma un programa Q_i y teniendo en cuenta que el resultado del parser genera un objeto de la clase **Programa** que contiene un conjunto de objetos de la clase **Instruccion**, además que cada instrucción tiene el comportamiento necesario para generar su propio código máquina, se delega la generación del código máquina a cada una, con la intención de comparar la secuencia resultante con la secuencia de código máquina esperada.

8.3. Decodificación

El proceso de decodificación se verifica a la inversa del proceso de ensamblado: tomando como entrada una lista de cadenas que representa cada una al código máquina de cada instrucción de un programa Q_i . Esta lista se recorre para ser procesada por el objeto **Interprete** que es el encargado de Decodificar. Como resultado de este procesamiento se puede retornar una de dos cosas:

1. Lista de Instrucciones

Este es el resultado de interpretar una secuencia de código máquina que representa correctamente a un conjunto de instrucciones y sus respectivos operandos. El objeto **Interprete** verifica los códigos de operación para poder crear las instrucciones correctamente, y luego, dependiendo de que tipo de instrucción se trate, comienza a interpretar sus respectivos operandos (si los tiene). Por último se compara cada instrucción en la lista resultante con la lista que se esperaba.

2. Error

Al interpretar una secuencia de código máquina que no representa a ninguna instrucción (ya sea porque el código de operación o el código de algún

modo de direccionamiento dentro del formato de cada instrucción es inválido) se obtiene una excepción del tipo **CodigoInvalidoException**.

8.4. Ejecución

Para verificar que la ejecución de un programa Qi se realiza correctamente fue necesario separar la verificación en los tres pasos del ciclo de ejecución de instrucción:

■ Búsqueda

Para verificar la búsqueda de instrucción se toma la instrucción siguiente a ejecutar y se compara el valor que se guarda en el registro IR con el valor esperado que debería tener (es decir, con el código máquina que representa a la instrucción siguiente a ejecutar). Además se verifica que el registro Contador de programa tenga como valor la dirección de memoria de la siguiente instrucción a ejecutar, para corroborar esto se compara el Contador de programa luego de la búsqueda con el resultado de la suma del Contador de programa anterior y la cantidad de celdas que ocupa la instrucción procesada.

■ Decodificación

Para verificar la decodificación, se toma el valor que está guardado en el registro IR para que lo reciba el intérprete que retornará el objeto instrucción interpretado a partir de ese valor. Al obtener dicha instrucción se compara con la instrucción esperada.

■ Ejecución

Para verificar el efecto de cada instrucción se preparó un caso de prueba por cada instrucción donde se tiene un estado inicial y un estado final esperado. Se realiza la ejecución de dicha instrucción y se compara el resultado obtenido (ya sea la modificación de flags, registros, celdas de memoria o puertos) con el resultado esperado.

Las siguientes secciones son pasos que se realizan de acuerdo al efecto esperado de cada instrucción en el repertorio de la arquitectura QArq (detallada en el apéndice A).

8.4.1. Operaciones de ALU

La ALU es la encargada de ejecutar operaciones aritméticas y lógicas. Si la instrucción a ejecutar tiene un efecto aritmético/lógico se le delega la ejecución de la operación. Para poder verificar todas las operaciones creamos un caso de prueba por cada operación. Tanto las operaciones aritméticas como las lógicas se analizan de la misma forma:

1. Se toma cada valor de los operandos (la búsqueda se detalla en la siguiente sección)
2. Se realiza la operación aritmética/lógica.
3. Se verifica el resultado obtenido con el resultado esperado.

4. Dado que algunas la mayoría de las operaciones modifica los flags, el valor final de éstos también se comparan con un resultado esperado.

8.4.2. Búsqueda de Operandos

Para verificar la búsqueda de operandos, se toma una instrucción cualquiera y se prueba todas las combinaciones de modos de direccionamiento para cada operando, teniendo en cuenta que son inválidas todas las combinaciones que tienen en el operando destino el modo de direccionamiento **Inmediato**. Se ejecuta entonces cada combinación para obtener el valor de cada operando, y este valor se lo compara con el valor esperado.

8.4.3. Almacenamiento de Operandos

Para verificar el almacenamiento de operandos, se ejecuta cada una de las instrucciones de un programa Qi. Durante la etapa de ejecución, cada una tiene un operando destinado a guardar el resultado de su efecto, y luego de ese momento se puede comparar el valor final del operando con el valor esperado.

9. Ejemplos de uso

Durante el desarrollo del simulador se encontraron situaciones especiales de uso que mostraron la potencialidad didáctica de la herramienta, según fue confirmado con los docentes de la materia Organización de Computadoras, dado que los estudiantes pueden experimentar mas allá de la resolución de problemas mediante programas Qi. En esta sección se muestran algunos ejemplos de estas situaciones.

1. En el siguiente programa Qi se ve que el uso de etiquetas permite enmascarar el modo de direccionamiento inmediato difiriendo la resolución de su valor al momento del ensamblado, ya que a partir de entonces es manejado como un valor constante, y por lo tanto puede asignarse a cualquier operando destino. En este ejemplo, la dirección inicial de la rutina **rutinaA** se almacena en la celda de memoria 0005, para luego ser recuperada en el **CALL**

```
rutinaA:  ADD R0, 0x0002
          ...
          MOV [0x0005], rutinaA
          CALL [0x0005]
```

2. En el siguiente ejemplo se puede ejercitar como el uso de subrutinas, puede alterar el ciclo de ejecución de instrucción. En particular en el siguiente ejemplo, como efecto de la ejecución del **CALL** se apila la dirección de la siguiente instrucción (en este caso un **ADD**), y la ejecución del **RET** hace que se vuelva entonces a ejecutar esa misma instrucción y luego un **RET** que no tuvo su correspondiente **CALL**.

```
          CALL rutina
rutina:  ADD R0, 0x0002
          RET
```

3. Dado el siguiente programa Qi:

```
ADD R0, [0x0002]
MUL R4, 0x0001
SUB [0x0003], 0x000A
```

Si el valor de PC hace referencia a la ultima instrucción (en este caso un `SUB`) y se lleva a cabo el ciclo de ejecución de instrucción, como estado final se tiene el valor de PC apuntando a la siguiente instrucción a ejecutar. Como el programa no tiene mas instrucciones, si se continúa la simulación se comienza la búsqueda de una instrucción inválida.

10. Trabajo Futuro

En esta sección se describirán características y funcionalidades que deseamos agregar al Simulador QSim en el futuro.

- Habilitar las instrucciones `PUSH` y `POP`.

Estas instrucciones permiten el manejo de la Pila como estructura de datos disponible para el programador. La instrucción `PUSH` tiene como efecto agregar el valor del operando origen a la pila, mientras que el `POP` permite sacar el primer elemento de la pila y guardarlo en el operando destino. Actualmente estas instrucciones se encuentran implementadas pero no habilitadas en ninguna gramática Qi.

- Entrada y Salida

Es deseable que en el futuro el simulador admita la interacción con dispositivos de Entrada/Salida o con simuladores de estos últimos. Para esto habría que modelar buses de entrada hacia los puertos y dispositivos tales como el teclado, impresora, monitor que estén conectados a los puertos y un programa pueda detectar su cambios y utilizar sus datos como input para luego procesarlos en un programa.

- Implementar interrupciones

Para completar el módulo de entrada y salida sería necesario implementar también y agregar al modelo actual las interrupciones de entrada y salida, ya que de esta manera los dispositivos de entrada y salida pueden dar aviso a la cpu que hay nuevos datos para ser procesados.

Parte IV

Apéndices

A. Especificación de la arquitectura Q

A.1. Características generales

La Arquitectura Q tiene 8 registros de uso general de 16 bits, denominados R0..R7, registros especiales de 16 bits tales como PC - *Program counter*, SP² - *Stack Pointer* y los Flags de un bit como Negative, oVerflow, Carry, Zero.

Por ultimo tiene una Memoria Principal con direcciones de 16 bit, donde el tamaño de cada celda también es de 16 bit. Entonces la memoria tiene un tamaño de 65536 celdas.

A.2. Modos de direccionamiento

Los siguientes son los modos de direccionamiento implementados en la Arquitectura QArq.

1. **Inmediato** Representa un operando que denota un valor constante. Es importante notar que este modo direccionamiento es admitido en el operando origen pero no el operando destino. La codificación de este modo se indica en la tabla 1.

Ejemplos:

- **0x0000** denota el modo de direccionamiento inmediato cuyo valor es cero.
- **0x000F** denota el modo de direccionamiento inmediato cuyo valor es 15.

2. **Directo** Con este modo de direccionamiento se denota un operando alojado en una dirección de memoria o de puertos. La codificación de este modo se indica en la tabla 1.

Ejemplos:

- **[0x0000]** denota un operando cuyo valor se encuentra en la celda de memoria cuya dirección es **0x0000**.
- **[0x000F]** denota un operando cuyo valor se encuentra en la celda de memoria cuya dirección es **0x000F**.

3. **Indirecto** Con este modo de direccionamiento se denota un operando alojado en una celda de memoria cuya dirección está almacenada en otra celda de memoria. La codificación de este modo se indica en la tabla 1.

Ejemplos:

²Comienza en la dirección FFEF.

Modo	Codificación
Inmediato	000000
Directo	001000
Indirecto	011000
Registro	100rrr
Registro indirecto	110rrr

Cuadro 1: Tabla de códigos de los modos de direccionamiento (Nota: rrr describe el número de registro)

- **[[0x0000]]** denota un operando cuyo valor se encuentra en la celda de memoria cuya dirección esta guardada como dato en la celda de memoria cuya dirección es **0x0000**
 - **[[0x000F]]** denota un operando cuyo valor se encuentra en la celda de memoria cuya dirección esta guardada como dato en la celda de memoria cuya dirección es **0x000F**
4. **Registro** Con este modo de direccionamiento se denota un operando alojado en un registro de uso general (R0 a R7). La codificación de este modo se indica en la tabla 1.
- Ejemplos: **R0** denota un operando almacenado en el registro R0. **R7** denota un operando almacenado en el registro R7.
5. **Registro Indirecto** De manera similar al modo indirecto, con este modo de direccionamiento se denota un operando alojado en una celda de memoria cuya dirección está almacenada en el registro indicado. La codificación de este modo se indica en la tabla 1.
- Ejemplos: **[R0]** denota un operando almacenado en una celda de memoria cuya dirección está en el registro **R0**. **[R7]** denota un operando almacenado en una celda de memoria cuya dirección está en el registro **R7**.

A.3. Repertorio de instrucciones

En esta sección se detalla cómo se construye el código máquina de las instrucciones de la arquitectura.

Todas las instrucciones alteran los flags excepto MOV, CALL, RET, JMP y los saltos condicionales. De las instrucciones que alteran los Flags, todas dejan C y V en 0 a excepción de ADD, SUB y CMP.

A.3.1. Instrucciones de 2 operandos

A continuación se muestra la codificación (formato) de las instrucciones de dos operandos:

Codigo de Operación (4b)	Modo Destino (6b)	Modo Origen (6b)	Destino (16b)	Origen (16b)
-----------------------------	----------------------	---------------------	------------------	-----------------

Las instrucciones de dos operandos descritas a continuación son instrucciones aritméticas o lógicas donde se asume que el resultado de la operación se almacena en uno de los dos operandos de entrada, y por lo tanto se lo denomina **operando destino**.

1. **MUL destino, origen** (Código de operación: 0000)
Esta instrucción describe la multiplicación entre los datos de los dos operandos. Esta operación es la única que cuyo resultado puede ser 32 bits, que son lo que ocuparía más de una celda de memoria en código binario, por lo que los primeros 16 bits, es decir, la primer mitad, es guardada en el registro **R7** y la segunda en el operando destino.
2. **ADD destino, origen** (Código de operación: 0010)
Esta instrucción describe la suma entre los datos de los dos operandos. El resultado de la ejecución de la suma es guardado en el operando destino.
3. **SUB destino, origen** (Código de operación: 0011)
Esta instrucción describe la resta entre los datos de los dos operandos. El resultado de la ejecución de dicha resta es guardado en el operando destino.
4. **DIV destino, origen** (Código de operación: 0111)
Esta instrucción describe la división entre el dato en el operando destino como dividendo y el dato en el operando origen como divisor. El resultado de la ejecución de la división es guardado en el operando destino.
5. **MOV destino, origen** (Código de operación: 0001)
Esta instrucción describe la copia de datos del dato alojado en el operando origen al operando destino. El resultado de la ejecución del MOV es el dato guardado en el operando origen ahora también guardado en el operando destino.
6. **AND destino, origen** (Código de operación: 0100)
Esta instrucción describe la conjunción bit a bit entre los datos de los dos operandos. El resultado de la ejecución de esta operación es guardado en el operando destino.
7. **CMP destino, origen** (Código de operación: 0110)
Esta instrucción describe la resta entre dos operandos, sin guardar el resultado. Su único efecto es la actualización de flags en la cpu.
8. **OR destino, origen** (Código de operación: 0101)
Esta instrucción describe la disyunción bit a bit entre los datos de los dos operandos. El resultado de la ejecución de esta operación es guardado en el operando destino.

A.3.2. Instrucciones de 1 operando origen

El formato de las instrucciones de un operando origen es el siguiente:

CodOp (4b)	Relleno (000000)	Modo Origen (6b)	Operando Origen (16b)
---------------	---------------------	---------------------	--------------------------

1. **CALL origen** (Código de operación: 1011)

El efecto del CALL es guardar la dirección de memoria en la celda de la dirección que se encuentra guardada en el SP (Stack pointer) aumentar el SP y guardar en el PC (Program Counter) el dato que se encuentra guardado en el operando origen ya que describe el llamado a una subrutina que comienza en la celda de memoria cuya dirección esta guardada en el operando origen.

2. **JMP origen** (Código de operación: 0110)

El efecto del JMP es cambiar el PC (Program Counter) por el dato que esta guardado en el operando origen ya que esta operación describe el salto a otra parte de la memoria para continuar con la ejecución del programa.

A.3.3. Instrucciones de 1 operando destino

El formato de las instrucciones de un operando destino es el siguiente:

CodOp (4b)	Modo Origen (6b)	Relleno (000000)	Operando Origen (16b)
---------------	---------------------	---------------------	--------------------------

1. **NOT destino** (Código de operación: 1001)

Esta instrucción describe la operación lógica "negación" bit a bit en el datos del operando destino. El resultado de la ejecución de esta operación es guardado en la misma celda o registro de donde es leído el dato inicialmente.

A.3.4. Instrucciones sin operandos

El formato de las instrucciones sin operandos es el siguiente:

CodOp (4b)	Relleno (00000000000000)
---------------	-----------------------------

1. **RET** (Código de operación: 0110) El efecto del ret es cambiar el pc por el dato que esta guardado en la celda de memoria que se encuentra en el SP (Stack pointer) y decrementar el SP ya que describe la finalización de la ejecución de una subrutina y la ejecución del resto del programa.

A.3.5. Instrucciones de salto condicional (falta revisar Mara)

El formato de las instrucciones de salto condicional es el siguiente:

CodOp (8)	Desplazamiento(8)
-----------	-------------------

donde los primeros cuatro bits del campo CodOp es la cadena 1111. Si **al evaluar la condición de salto** el resultado es 1, se le suma al PC el valor del desplazamiento, representado en el sistema Complemento a 2 de 8 bits. En caso contrario la instrucción no hace nada.

El efecto de cualquier salto condicional es aumentar el PC (Program Counter) en la cantidad de celdas que indique el desplazamiento si sólo la condición que

cada salto condicional tiene da como resultado 1, lo cual es interpretado como verdadero.

1. **JE desplazamiento** (Código de operación: 0001)
La condición del salto es que el flag **Z** (Cero) sea 1, es decir la ultima operación matemática dió como resultado el número cero.
2. **JNE desplazamiento** (Código de operación: 1001)
La condición del salto es que el flag **Z** (Cero) sea 0, es decir la ultima operación matemática no dió como resultado el número cero.
3. **JLE desplazamiento** (Código de operación: 0010)
La condición del salto es el resultado de la siguiente operación lógica **Z OR (N XOR V)**, es decir la ultima operación matemática es menor o igual con signo.
4. **JG desplazamiento** (Código de operación: 1010)
La condición del salto es el resultado de la siguiente operación lógica **NOT (Z OR (N XOR V))**, es decir la ultima operación matemática es mayor con signo.
5. **JL desplazamiento** (Código de operación: 0011)
La condición del salto es el resultado de la siguiente operación lógica **N XOR V**, es decir la ultima operación matemática es menor con signo.
6. **JGE desplazamiento** (Código de operación: 1011)
La condición del salto es el resultado de la siguiente operación lógica **NOT (N XOR V)**, es decir la ultima operación matemática es mayor o igual con signo.
7. **JLEU desplazamiento** (Código de operación: 0100)
La condición del salto es el resultado de la siguiente operación lógica **C OR Z**, es decir la ultima operación matemática es menor o igual sin signo.
8. **JGU desplazamiento** (Código de operación: 1100)
La condición del salto es el resultado de la siguiente operación lógica **NOT (C OR Z)**, es decir la ultima operación matemática es mayor sin signo.
9. **JCS desplazamiento** (Código de operación: 0101)
La condición del salto es que el flag **C** sea 1, es decir la ultima operación matemática es menor sin signo.
10. **JNEG desplazamiento** (Código de operación: 0101)
La condición del salto es que el flag **N** sea 1, es decir si el último resultado de una operación dio negativo.
11. **JVS desplazamiento** (Código de operación: 0111)
La condición del salto es que el flag **V** sea 1, es decir si el último resultado de una operación dio overflow.

B. Como utilizar el simulador

En esta sección se describen las opciones básicas del uso de la aplicación.



B.0.6. Agregar archivos

Como se observa en screenshot ?? la ventana cuenta con la opción de agregar archivos .qsim y se encuentran deshabilitadas las otras opciones ya que, sin uno o más programas de la arquitectura Qi carece de sentido realizar la acción de ensamblar o de cargar en memoria.

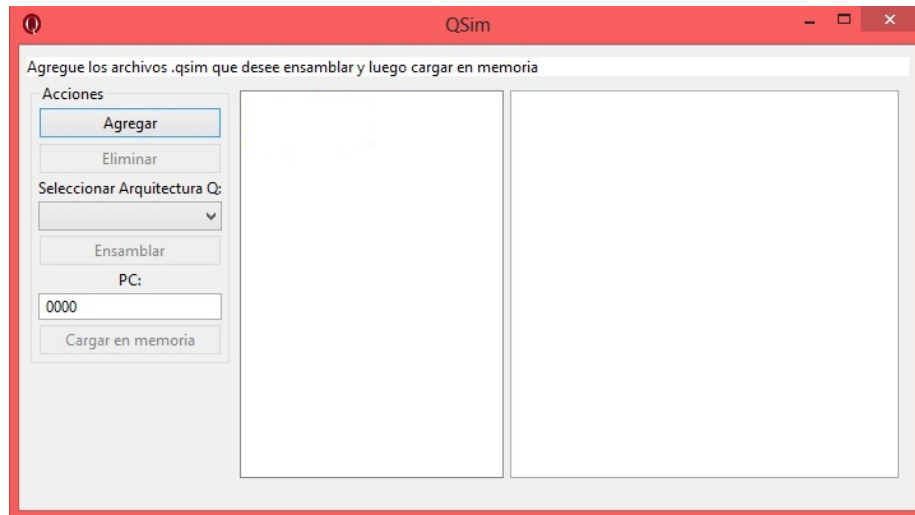


Figura 7: Cargado de archivos

B.0.7. Ensamblar

Como se observa en screenshot ?? una vez que los programas Qi en los archivos -qsim se encuentran agregados se habilitan las opciones de seleccionar la arquitectura Qi que se desee (Q1.. Q6) y la opción de Ensamblar el programa para que se realice el chequeo de sintaxis y se genere el código máquina que luego será cargado en memoria.

Figura 8: Ensamblar

B.0.8. Cargar en memoria

Como se observa en screenshot ?? los programas Qi en los archivos -qsim se encuentran ensamblados en la arquitectura Qi elegida. Para ese entonces todas las opciones están habilitadas ya que puede desearse agregar otro archivo .qsim o quitar alguno (no todos) y volver a ensamblar, o bien, elegir el Contador de programa a partir del cual se quiere cargar en memoria el programa Qi (por defecto "0000") y hacer click en el botón "Cargar en memoria".

B.0.9. Ciclo de instruccion

Como se observa en screenshot ?? una vez que el programa es exitosamente cargado en memoria se abre esta nueva ventana que contiene los registro espe-

B Como utilizar el simulador

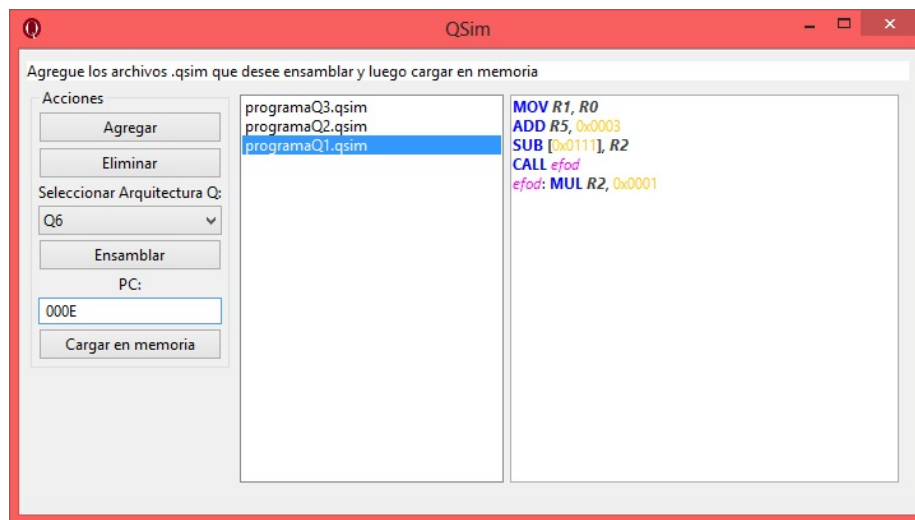


Figura 9: Cargado en memoria

ciales Contador de programa, registro IR, Puntero de pila, los flags, los registro de uso general (R0...R7), la memoria, una consola de información al usuario y los botones habilitados para realizar el fetch, ver los puertos y editar los valores de los registros especiales, los flags y pc.

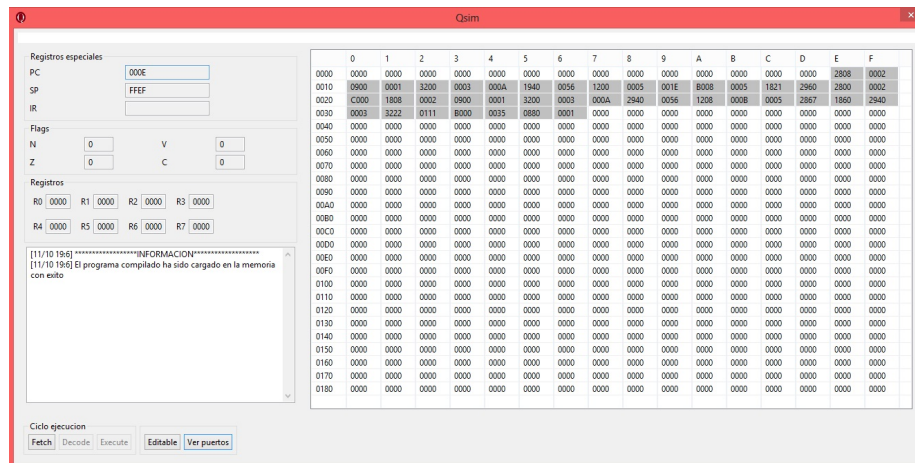


Figura 10: Ventana de ejecución

Para poder realizar el ciclo de ejecución de una instrucción, se debe seguir el orden de las etapas de dicho ciclo al apretar los botones que están debajo en el panel llamado "Ciclo de ejecución". De todas maneras como se ve en los siguientes screenshots sólo luego de realizarse el fetch a pedido del usuario puede utilizarse el decode, luego el execute y el ciclo vuelve a repetirse.

D Errores comunes

Figura 11: Ventana de ejecución luego del fetch

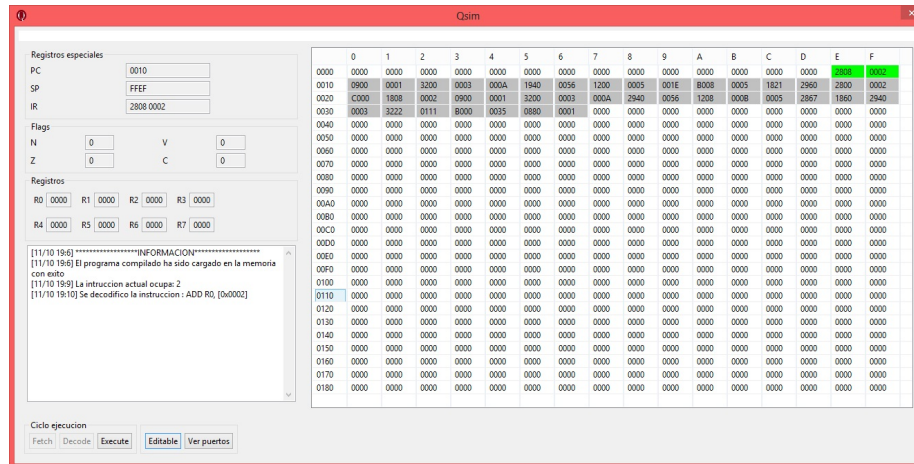


Figura 12: Ventana de ejecución luego del decode

B.0.10. Ver puertos

Si se desea ver el valor que tienen los puertos, basta con hacer click en el botón "Ver puertos", y se abrirá una nueva ventana tal y como se ve en el screenshot ?? donde se podrá observar el número de puerto y su valor actual y también al igual que en la ventana principal seleccionar su edición.

C. Repositorios remotos del código de la aplicación

C.0.11. Código del modelo

<https://github.com/molinarirosito/QSim>

C.0.12. Código de la interfaz

<https://github.com/molinarirosito/QSimUI>

D. Errores comunes

En esta sección se detallan las diferentes situaciones que pueden dar como resultado un mensaje de error, que informará en que línea del programa se encuentra, durante la etapa de ensamblado.

- Dado el siguiente programa Qi:

```
ADD R0, 0x0002
```



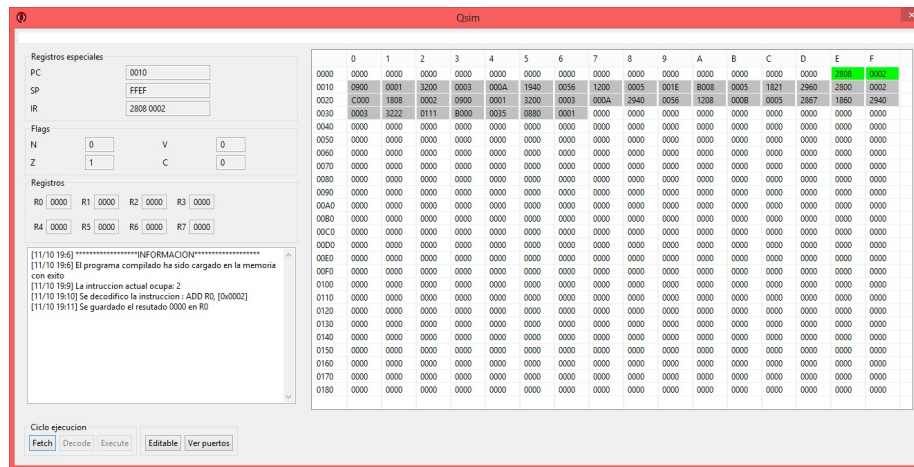


Figura 13: Ventana de ejecución luego del execute

```
MUL R4, 0x01
SUB R5, 0x000A
MOV R5, 0x0056
MOV R2, R3
ADD R1, R7
```

En la línea número 2 el modo de direccionamiento inmediato está incompleto, (le faltan dos dígitos). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up³ el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 2 : MUL R4, 0x01

- Dado el siguiente programa Q1:

```
MOV 0x0006, 0x0056
ADD R2, R3
SUB R1, R7
```

En la línea número 1 el operando destino es inmediato lo cual es inválido (El operando nunca puede tener como modo de direccionamiento un inmediato). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1 : MOV 0x0006, 0x0056

- Dado el siguiente programa escrito en Q1:

```
ADD R0, [0x0002]
MOV R4, R0
```

³Ventana emergente.



Figura 14: Ventana de puertos

En la línea numero 1 el operando origen es directo lo cual es invalido en la arquitectura Q1 (El modo de direccionamiento Directo se incorpora en las arquitecturas Qi desde la arquitectura Q2 en adelante). Cuando el alumno quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1 : ADD R0, [0x0002]

- Dado el siguiente programa Qi:

```
CMP R3, [0xA000]
MOV R4 R0
```

En la línea numero 2 entre los operandos no se encuentra la coma que los separa (La sintáxis de las instrucciones de dos operandos especifica que debe haber una coma separando los operandos.). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 2 : MOV R4, R0

- Dado el siguiente programa Qi:

```
sub [[0x0004]], [0xA000]
ADD R4, R0
```

En la línea numero 1 la instrucción sub esta escrita en minúscula esto es inválido (La sintáxis define que los nombres de las instrucciones son

estrictamente en mayúscula). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1: sub [[0x0004]], [0xA000]

- Dado el siguiente programa Qi:

```
MUL [R6], r4
ADD [0xF0F0], R0
```

En la línea número 1 el operando origen es un registro escrito con minúscula, esto es inválido (La sintaxis define que los registros empiezan estrictamente con 'R' mayúscula). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1: MUL [R6], r4

- Dado el siguiente programa Qi:

```
AND R2, R8
OR [0xF0F0], R0
```

En la línea número 1 el operando origen el número del registro es inválido (Los registros deben estar dentro del rango R0..R7). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1: AND R2, R8

- Dado el siguiente programa Qi:

```
MUL R7, R4
AND R5, [R3]
```

Para la instrucción MUL es inválido utilizar como destino el registro R7 por lo que, la primera línea es inválida. Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1: MUL R7, R4

- Dado el siguiente programa Qi:

```
inicio: MUL R7, R4
        AND R5, [R3]
        JMP inicio
```

En la línea número 3 la etiqueta anteriormente declarada en la línea número 1 está incompleta (Le faltan los dos puntos). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 3: JMP inicio

- Dado el siguiente programa Qi :

```
ADD [0x9000] , R4
NOT 0x0004
```

En la linea numero 2 el operando destino de la instrucción NOT no puede ser un inmediato, esto es inválido (Los operandos destinos no pueden ser inmediatos). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la linea 2: NOT 0x0004
--

- Dado el siguiente programa Qi:

```
ADD [9000] , R4
NOT R2
```

En la linea numero 1 el operando origen no tiene el prefijo '0x', es una expresión invalida. Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la linea 1: ADD [0009] , R4

- Dado el siguiente programa Qi:

```
ADD [0x90000000000000] , R4
NOT R2
```

En la linea numero 1 el operando destino tiene mas dígitos que los permitidos, (Un inmediato tiene el prefijo 0x y luego sólo 4 dígitos hexadecimales). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la linea 1: ADD [0x90000000000000] , R4

- Dado el siguiente programa Qi:

```
ZDD [0x90000000000000] , [R5]
NOT R2
```

En la linea numero 1 el nombre de la operación es invalida (No existe la instrucción ZDD). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la linea 1: ZDD [0x90000000000000] , R4

- Dado el siguiente programa Qi:

```
SUB [], 0x000A
```

En la línea número 1 el operando destino no está incompleto (El modo de direccionamiento directo debe escribirse como un valor inmediato encerrado entre corchetes). Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1: SUB [], 0x000A
--

- Dado el siguiente programa Qi:

JMP

En la línea número 1 sólo está escrito el nombre de la instrucción JMP pero falta a continuación su operando origen. Cuando se quiera ensamblar este programa, el ensamblador detectará este error y en la pantalla se mostrará mediante un pop-up el siguiente mensaje:

Ha ocurrido un error en la línea 1: JMP

Referencias

- [1] Williams Stallings, *Computer Organization and Architecture*, octava edición, Editorial Prentice Hall, 2010.
- [2] A. Tanenbaum, *Organización de Computadoras*, cuarta edición, Editorial Pearson.
- [3] Hennessy, Patterson. *Arquitectura de Computadores - Un enfoque cuantitativo*, primera edición, Editorial Mc Graw Hill.
- [4] Sitio oficial de la materia Organización de Computadoras: <http://orga.blog.unq.edu.ar> (2013)