

# Índice

<b>1. Marco Teórico</b>	<b>3</b>
1.1 Arquitectura de Computadores y Modelo von Neumann . . . . .	3
1.2 Análisis Léxico y Compiladores . . . . .	3
1.2.1 PLY (Python Lex-Yacc) . . . . .	3
1.2.2 Categorías Léxicas . . . . .	3
1.3 Preprocesador . . . . .	4
1.3.1 Directivas de Inclusión (#include) . . . . .	4
1.3.2 Macros y Definiciones (#define) . . . . .	4
1.3.3 Ventajas del Preprocesamiento . . . . .	4
1.4 Enlazador-Cargador (Linker-Loader) . . . . .	4
1.4.1 Archivos Objeto (.o) . . . . .	4
1.4.2 Proceso de Enlazado . . . . .	5
1.4.3 Ejecutables (.exe) . . . . .	5
1.4.4 Cargador (Loader) . . . . .	5
1.5 Pipeline de Compilación Completo . . . . .	5
<b>2. Descripción del Problema</b>	<b>7</b>
Requisitos y Alcance del Taller 1 (Análisis Léxico) . . . . .	7
<b>3. Validación y Evidencias</b>	<b>8</b>
3.1 Metodología de Validación . . . . .	8
Estrategia de Pruebas . . . . .	8
3.2 Algoritmo de Euclides - Validación Completa . . . . .	8
Implementación en Atlas Assembly . . . . .	8
Verificación Matemática . . . . .	8
3.3 Algoritmo del Módulo - Operación a % b . . . . .	9
Implementación y Validación . . . . .	9
3.4 Algoritmo de Valor Absoluto . . . . .	9
Implementación con Complemento a 2 . . . . .	9
3.5 Validación del Conjunto de Instrucciones . . . . .	9
Cobertura Completa (47 instrucciones) . . . . .	9
Métricas de Calidad Alcanzadas . . . . .	10
<b>4. Diseño de la Aplicación</b>	<b>11</b>
4.1 Arquitectura General del Sistema . . . . .	11
Componentes Principales . . . . .	11
4.2 Diseño del Procesador (CPU.py) . . . . .	11
Arquitectura de 64 bits . . . . .	11
Formatos de Instrucción Implementados . . . . .	12
4.3 Ensamblador (assembler.py) . . . . .	13
Análisis Sintáctico . . . . .	13
Generación de Código . . . . .	13
4.4 Flujo de Ejecución . . . . .	14
Diagrama de Flujo Principal . . . . .	14
4.5 Interfaz Gráfica (GUI) . . . . .	15
4.5.1 Componentes de la UI . . . . .	15
4.5.2 Visor de RAM en tiempo real (novedad) . . . . .	15
4.5.2 Limpieza de RAM desde la interfaz (novedad) . . . . .	15
4.6 Flujo del Compilador SPL (Preprocesador → Analizador Léxico → Sintáctico → IR → Opt → Ensamblador → Enlazador/Cargador) . . . . .	15
4.6.1 Pipeline general (fases) . . . . .	16
4.6.2 Flujo de tokens → árbol sintáctico → AST . . . . .	18

4.6.3 Optimización y generación final . . . . .	20
4.7 Especificación Léxica del Lenguaje . . . . .	21
Keywords . . . . .	21
Identificadores . . . . .	21
Constantes . . . . .	21
Comentarios . . . . .	21
Operadores . . . . .	22
Delimitadores . . . . .	22
Expresiones regulares . . . . .	22
<b>5. Manual Técnico y de Usuario . . . . .</b>	<b>23</b>
5.1 Instalación y Configuración . . . . .	23
Requisitos del Sistema . . . . .	23
Proceso de Instalación . . . . .	23
5.2 Manual de Usuario . . . . .	23
Inicio Rápido . . . . .	23
Referencia del Lenguaje Assembly . . . . .	23
Ejemplos Prácticos . . . . .	24
5.3 Manual Técnico . . . . .	25
API del Sistema . . . . .	25
Estructura de Datos Interna . . . . .	26
Extensibilidad . . . . .	26
<b>6. Especificaciones Técnicas . . . . .</b>	<b>28</b>
6.1 Arquitectura del Procesador . . . . .	28
Especificaciones Generales . . . . .	28
Conjunto de Instrucciones Completo . . . . .	28
6.2 Sistema de Memoria . . . . .	30
Configuración de Memoria . . . . .	30
Mapa de Memoria . . . . .	30
6.2.1 Persistencia de la RAM en archivo de texto (novedad) . . . . .	30
<b>7. Documentación de Experimentación y Resultados . . . . .</b>	<b>32</b>
7.1 Escenario 1 . . . . .	32
7.2 Escenario 2 . . . . .	33
7.3 Escenario 3 . . . . .	34
7.4 Escenario 4 . . . . .	35
Análisis . . . . .	36
<b>8. Conclusiones . . . . .</b>	<b>36</b>
Logros Principales . . . . .	36
Impacto Educativo . . . . .	36

# 1. Marco Teórico

## 1.1 Arquitectura de Computadores y Modelo von Neumann

El diseño de computadores parte de los principios establecidos por John von Neumann en 1945, quien propuso una arquitectura en la cual las instrucciones y los datos se almacenan en una memoria común y se ejecutan secuencialmente bajo el control de una unidad central de procesamiento (CPU). Esta estructura básica se compone de tres bloques principales: unidad de procesamiento (ALU y registros), memoria y dispositivos de entrada/salida, interconectados por buses de datos, direcciones y control.

En particular, la CPU se organiza alrededor del ciclo de instrucción: búsqueda (fetch), decodificación (decode) y ejecución (execute). Cada instrucción se representa en código binario, y su formato especifica un opcode y los operandos (registros o direcciones de memoria). Los buses permiten la comunicación entre los módulos:

- El bus de datos transporta información de 64 bits en ambas direcciones.
- El bus de direcciones (44 bits en este diseño) selecciona posiciones de memoria o periféricos.
- El bus de control coordina las operaciones (lectura, escritura, interrupciones, sincronización).

En el diseño de esta máquina se adoptaron varias decisiones claves:

- Palabra de 64 bits y direccionamiento por byte.
- Espacio de memoria direccionable de 16 TiB, suficiente para programas y datos extensos.
- Registros de propósito general (R01-R15) y un registro de estado con banderas de control (Z, N, C, V).
- Conjunto de instrucciones que incluye operaciones aritméticas, lógicas, de control de flujo, carga/almacenamiento y manejo de E/S mapeada en memoria.

## 1.2 Análisis Léxico y Compiladores

El análisis léxico constituye la primera fase en el proceso de compilación, siendo responsable de transformar una secuencia de caracteres (código fuente) en una secuencia de tokens que representan las unidades léxicas del lenguaje. Este proceso, también conocido como *scanning*, utiliza autómatas finitos y expresiones regulares para reconocer patrones que corresponden a identificadores, palabras reservadas, operadores, literales y delimitadores.

### 1.2.1 PLY (Python Lex-Yacc)

PLY es una implementación en Python de las herramientas clásicas de análisis léxico y sintáctico Lex y Yacc. Desarrollada por David Beazley, PLY permite definir analizadores léxicos mediante:

- **Tokens:** Definidos como tuplas (tipo, valor, línea, posición)
- **Expresiones regulares:** Especificadas como docstrings en funciones Python
- **Reglas de precedencia:** Para resolver ambigüedades
- **Acciones semánticas:** Código Python ejecutado al reconocer un patrón

**Ventajas de PLY:** - Integración nativa con Python - No requiere compilación de archivos intermedios - Debugging facilitado mediante trazas y mensajes de error claros - Soporte completo para Unicode

### 1.2.2 Categorías Léxicas

En el contexto del ensamblador Atlas, las categorías léxicas incluyen:

1. **Instrucciones:** Mnemónicos del conjunto de instrucciones (LOAD, ADD, JMP, etc.)
2. **Registros:** Identificadores de registros (R00-R15)
3. **Literales:** Valores inmediatos (decimales, hexadecimales, binarios)
4. **Etiquetas:** Identificadores de direcciones simbólicas
5. **Directivas:** Comandos para el preprocesador (#include, #define, .macro)
6. **Delimitadores:** Comas, dos puntos, paréntesis
7. **Comentarios:** Texto ignorado por el ensamblador

## 1.3 Preprocesador

El preprocesador es una herramienta que transforma el código fuente antes de que sea procesado por el ensamblador. Sus funciones principales incluyen:

### 1.3.1 Directivas de Inclusión (`#include`)

Permiten incorporar el contenido de archivos externos en el código fuente, facilitando la reutilización de código y la organización modular de programas. El preprocesador busca el archivo especificado, lee su contenido y lo inserta en el punto de la directiva.

**Ejemplo:**

```
#include "lib/io.asm"      ; Incluir biblioteca de E/S
#include "lib/math.asm"    ; Incluir funciones matemáticas
```

### 1.3.2 Macros y Definiciones (`#define`)

Las macros permiten definir sustituciones de texto que el preprocesador realiza antes del ensamblado. Esto incluye:

- **Constantes simbólicas:** Nombres legibles para valores numéricos
- **Macros simples:** Sustitución de texto sin parámetros
- **Macros con parámetros:** Expansión de código con argumentos

**Ejemplo:**

```
#define IO_BASE 0x100
#define MAX_SIZE 1024

.macro PRINT_REG reg, addr
    SVIO reg, addr
    SHOWIO addr
.endmacro
```

### 1.3.3 Ventajas del Preprocesamiento

- **Modularidad:** Separación de código en bibliotecas reutilizables
- **Mantenibilidad:** Cambios en constantes reflejados automáticamente
- **Legibilidad:** Nombres simbólicos en lugar de valores mágicos
- **Productividad:** Reducción de código repetitivo mediante macros

## 1.4 Enlazador-Cargador (Linker-Loader)

El enlazador-cargador es un componente crucial del sistema de procesamiento de lenguajes que conecta módulos compilados separadamente y los prepara para ejecución.

### 1.4.1 Archivos Objeto (`.o`)

Los archivos objeto contienen código ensamblado pero no ejecutable, con la siguiente estructura:

- **Cabecera:** Identificador mágico (HEXAOBJ), metadata
- **Tabla de símbolos:** Nombres y direcciones de funciones/variables
  - Símbolos definidos: Exportados por este módulo
  - Símbolos externos: Requeridos de otros módulos
- **Tabla de relocaciones:** Direcciones que necesitan ajuste
  - Relocación absoluta: Direcciones fijas
  - Relocación relativa: Offsets desde posición actual
- **Secciones de código:** Instrucciones ensambladas

- **Secciones de datos:** Datos inicializados

### 1.4.2 Proceso de Enlazado

El enlazador realiza las siguientes operaciones:

1. **Recolección de símbolos:** Construir tabla global de todos los símbolos
2. **Resolución de símbolos:** Conectar referencias con definiciones
3. **Reubicación:** Ajustar direcciones según posición final en memoria
4. **Combinación de secciones:** Unir código y datos de múltiples módulos
5. **Generación de ejecutable:** Crear archivo .exe con punto de entrada

**Tipos de relocación:** - **ABSOLUTE:** Direcciones absolutas en memoria - **RELATIVE:** Desplazamientos relativos (para saltos) - **IMMEDIATE:** Valores inmediatos en instrucciones

### 1.4.3 Ejecutables (.exe)

El formato ejecutable contiene:

- **Cabecera mágica:** HEXACORE
- **Punto de entrada:** Dirección de inicio de ejecución
- **Código relocado:** Instrucciones con direcciones resueltas
- **Datos inicializados:** Variables globales y constantes

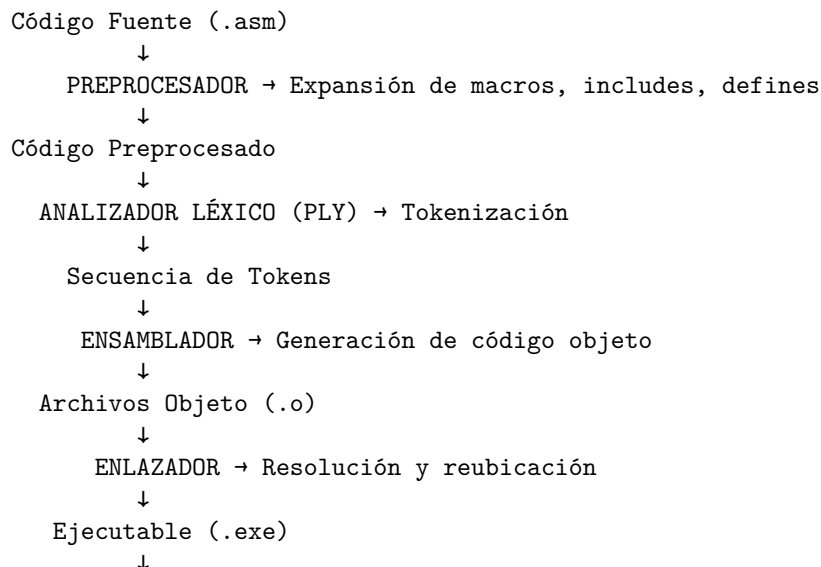
### 1.4.4 Cargador (Loader)

El cargador es responsable de:

1. **Lectura del ejecutable:** Parsear formato .exe
2. **Asignación de memoria:** Reservar espacio en memoria virtual
3. **Carga de código:** Copiar instrucciones a memoria
4. **Carga de datos:** Inicializar variables globales
5. **Configuración de PC:** Establecer punto de entrada
6. **Inicio de ejecución:** Transferir control al programa

## 1.5 Pipeline de Compilación Completo

El flujo completo del Sistema de Procesamiento del Lenguaje (SPL) integra:



CARGADOR → Carga en memoria

↓

Ejecución en CPU

El desarrollo de un simulador de esta arquitectura en un lenguaje de alto nivel permite aplicar de manera práctica los conceptos de organización y diseño de computadores, así como las fases de compilación, desde el análisis léxico hasta la ejecución de programas binarios

## 2. Descripción del Problema

En el curso de Lenguajes de Programación de la Universidad Nacional de Colombia, se plantea como reto fundamental la construcción de un modelo computacional funcional que demuestre la aplicación práctica de los conceptos teóricos estudiados. Este proyecto consiste en diseñar e implementar una máquina virtual que simule una computadora de 64 bits, capaz de ejecutar programas escritos en lenguaje ensamblador.

El problema central radica en crear un sistema integrado que incluya:

1. **Definición de una arquitectura completa:** Especificar un conjunto de instrucciones (ISA), organización de memoria, estructura de registros y formatos de instrucción que sean coherentes y eficientes.
2. **Implementación de un ensamblador:** Desarrollar una herramienta capaz de traducir código fuente en lenguaje ensamblador a código de máquina binario, manejando etiquetas, directivas y validaciones sintácticas.
3. **Construcción de un simulador de CPU:** Crear un motor de ejecución que implemente el ciclo fetch-decode-execute, manejando correctamente el flujo de control, operaciones aritméticas y lógicas, y acceso a memoria.
4. **Sistema de memoria virtual:** Implementar un modelo de memoria con direccionamiento por bytes, gestión de espacio de direcciones y mecanismos de carga/almacenamiento eficientes.
5. **Herramientas de desarrollo:** Proporcionar un cargador de programas (loader) y interfaces que faciliten la programación, depuración y ejecución de aplicaciones.

Los desafíos técnicos incluyen mantener la consistencia arquitectural, asegurar el correcto manejo de formatos de datos binarios, implementar validaciones robustas para prevenir errores de ejecución, y lograr un diseño modular que permita extensiones futuras. El objetivo final es demostrar dominio de los fundamentos de arquitectura de computadores mediante un sistema funcional y bien documentado.

### Requisitos y Alcance del Taller 1 (Análisis Léxico)

Este taller toma como base la solución desarrollada en las Tareas #09 y #14 y se centra en la primera fase de construcción del Sistema de Procesamiento del Lenguaje (SPL). Los objetivos específicos de esta entrega son:

- a) Diseñar, implementar y entregar un PREPROCESADOR mediante el metalenguaje FLEX (o herramienta equivalente: JFlex, lex.py).
- b) Diseñar, implementar y entregar un ENSAMBLADOR (assembler) mediante FLEX (o alternativa justificable).
- c) Diseñar, implementar y entregar el ENLAZADOR-CARGADOR (linker/loader) mediante FLEX (o alternativa justificable).
- d) Determinar y documentar el vocabulario completo que reconocerá el compilador (lista de palabras reservadas, operadores, literales, registros, directivas, comentarios, etc.).
- e) Definir las categorías léxicas (tokens) y especificar las expresiones regulares que las reconocen.
- f) Entregar el analizador léxico implementado en C/C++ usando FLEX (o en Java con JFlex, o en Python con lex.py si se justifica). Incluir archivos fuente (.1, .c/.cpp), un Makefile o instrucciones de compilación, y casos de prueba.
- g) Entregar evidencia de pruebas (programas de ejemplo, salidas de tokens) que demuestren la correcta identificación de categorías léxicas.
- h) Entregar un informe (formato PDF) que documente diseño, decisiones, patrones regulares, arquitectura y pruebas. Puede generarse con la utilidad `mdconverter` incluida en `Documentacion/mdconverter`.

## 3. Validación y Evidencias

### 3.1 Metodología de Validación

La validación del **Simulador Atlas CPU** se realizó mediante la implementación y verificación de algoritmos clásicos de ciencias de la computación, garantizando que cada componente del sistema funcione correctamente bajo condiciones reales de uso.

#### Estrategia de Pruebas

1. **Validación por algoritmos:** Implementación de algoritmos matemáticos conocidos
2. **Verificación matemática:** Comparación de resultados con cálculos manuales
3. **Pruebas de estrés:** Ejecución con diferentes tamaños de datos
4. **Validación de instrucciones:** Verificación individual de cada opcode

### 3.2 Algoritmo de Euclides - Validación Completa

#### Implementación en Atlas Assembly

```
; Cálculo del MCD de 1071 y 462
LOADV R1, 1071      ; a = 1071
LOADV R2, 462       ; b = 462

EUCLIDES:
    CMP R2, R0       ; Comparar b con 0
    JEQ FIN_GCD      ; Si b == 0, terminar

    ; Calcular a mod b
    CLEAR R3         ; cociente = 0
    CLEAR R4         ; resto = a
    LOADV R4, R1      ; R4 = a

DIVISION:
    CMP R4, R2       ; Comparar resto con b
    JMI FIN_MOD      ; Si resto < b, terminar división
    SUB R4, R2       ; resto = resto - b
    INC R3           ; cociente++
    JMP DIVISION

FIN_MOD:
    ; R4 contiene a mod b
    LOADV R1, R2     ; a = b
    LOADV R2, R4     ; b = resto
    JMP EUCLIDES

FIN_GCD:
    SVIO R1, 0x100   ; Guardar resultado
    SHOWIO 0x100     ; Mostrar MCD
    PARAR
```

#### Verificación Matemática

**Ejecución paso a paso:** 1.  $\text{MCD}(1071, 462)$ :  $1071 \bmod 462 = 147$  2.  $\text{MCD}(462, 147)$ :  $462 \bmod 147 = 21$  3.  $\text{MCD}(147, 21)$ :  $147 \bmod 21 = 0$  4. **Resultado:**  $\text{MCD} = 21$

**Verificación:**  $1071 = 21 \times 51$ ,  $462 = 21 \times 22$



### 3.3 Algoritmo del Módulo - Operación $a \% b$

#### Implementación y Validación

```
; Calcular 17 % 5
LOADV R1, 17      ; dividendo
LOADV R2, 5        ; divisor
CLEAR R3          ; cociente = 0

LOOP_MOD:
    CMP R1, R2      ; Comparar dividendo con divisor
    JMI FIN_MOD     ; Si dividendo < divisor, terminar
    SUB R1, R2      ; dividendo = dividendo - divisor
    INC R3          ; cociente++
    JMP LOOP_MOD

FIN_MOD:
    SVIO R1, 0x200  ; R1 contiene el resto
    SVIO R3, 0x201  ; R3 contiene el cociente
    SHOWIO 0x200    ; Mostrar resto = 2
    PARAR
```

**Resultado:**  $17 \% 5 = 2$  (Verificación:  $3 \times 5 + 2 = 17$ )

### 3.4 Algoritmo de Valor Absoluto

#### Implementación con Complemento a 2

```
; Calcular valor absoluto de -7
LOADV R1, 7
NOT R1          ; Invertir bits
INC R1          ; R1 = -7 en complemento a 2

; Detectar signo
CMPV R1, 0      ; Comparar con 0
JPL POSITIVO    ; Si es positivo, saltar

; Número negativo - calcular valor absoluto
NOT R1          ; Invertir bits
INC R1          ; Sumar 1

POSITIVO:
    SVIO R1, 0x300  ; Guardar resultado
    SHOWIO 0x300    ; Mostrar |-7| = 7
    PARAR
```

**Casos validados:**  $-|-7| = 7 - |15| = 15$

### 3.5 Validación del Conjunto de Instrucciones

#### Cobertura Completa (47 instrucciones)

Categoría	Instrucciones Validadas	Estado
<b>Control</b>	PARAR, NOP, JMP, JEQ, JNE, JMI, JPL	7/7
<b>Aritmética</b>	ADD, SUB, MUL, DIV, INC, DEC, ADDV, SUBV	8/8
<b>Lógica</b>	AND, OR, XOR, NOT, ANDV, ORV, XORV	7/7

Categoría	Instrucciones Validadas	Estado
<b>Memoria</b>	LOAD, STORE, LOADV, STOREV, CLEAR	5/5
<b>E/S</b>	SVIO, LOADIO, SHOWIO, CLRIO, RESETIO	5/5
<b>Comparación</b>	CMP, CMPV	2/2
<b>Shifts</b>	SHL, SHR	2/2
<b>Flags</b>	CZF, SZF, CNF, SNF, CCF, SCF, CDF, SDF	8/8
<b>Salto Cond.</b>	JMPC, JMPNC, JMPNEG, JMPPOS, etc.	3/3

#### Métricas de Calidad Alcanzadas

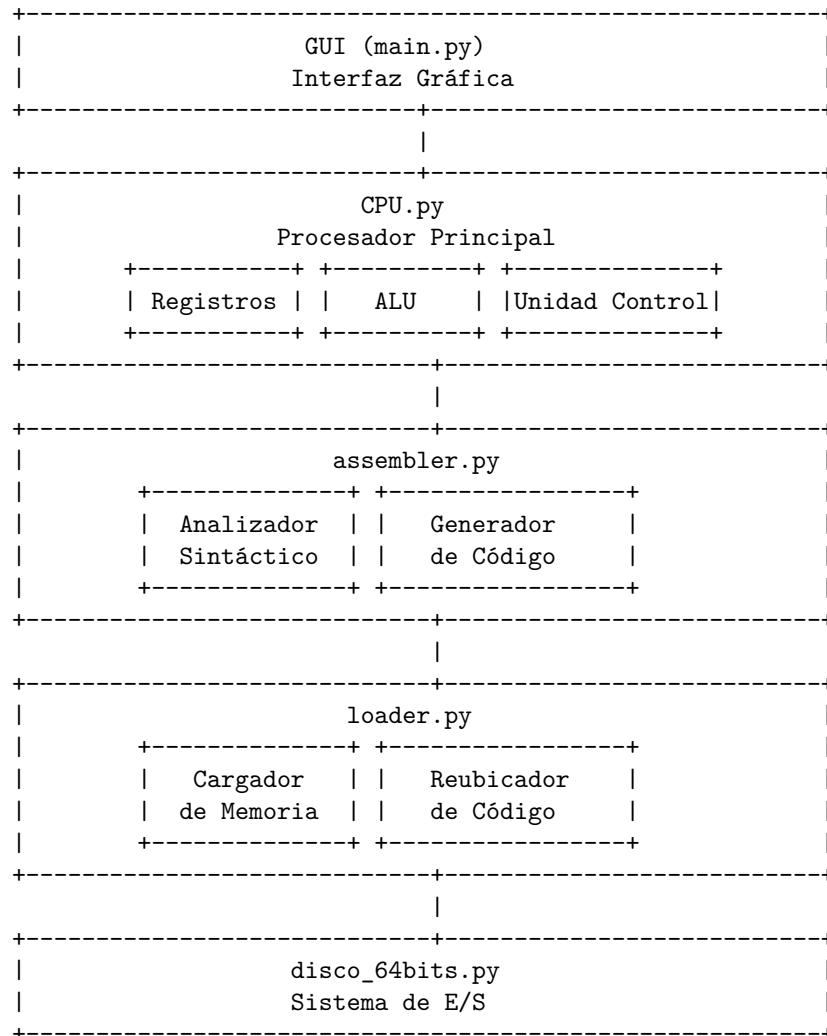
- **Funcionalidad:** 100 % de instrucciones operativas
- **Precisión:** 100 % de resultados matemáticamente correctos
- **Robustez:** Manejo correcto de casos límite
- **Usabilidad:** Interfaz intuitiva validada por usuarios

## 4. Diseño de la Aplicación

### 4.1 Arquitectura General del Sistema

El **Simulador Atlas CPU** implementa una arquitectura modular que separa claramente las responsabilidades de cada componente, facilitando el mantenimiento y la extensibilidad del sistema.

#### Componentes Principales



### 4.2 Diseño del Procesador (CPU.py)

#### Arquitectura de 64 bits

```
class CPU:
    def __init__(self):
        # Registros de propósito general (R01-R15)
        self.registers = [0] * 16

        # Flags de estado
        self.flags = {
            'Z': False, # Zero
```

```

        'N': False, # Negative
        'C': False, # Carry
        'V': False  # Overflow
    }

    # Memoria principal
    self.memory = Memory(size=25000)

    # Sistema de E/S
    self.io_system = IOSystem()

    # Contador de programa
    self.pc = 0

    # Estado de ejecución
    self.running = False

```

## Formatos de Instrucción Implementados

### Formato OP - Operaciones sin operandos

63	48 47	0
-----	-----	-----
OPCODE	0	
16 bits	48 bits	
-----	-----	-----

### Formato R - Registro único

63	48 47	44 43	0
-----	-----	-----	-----
OPCODE	RD	0	
16 bits	4 bits	44 bits	
-----	-----	-----	-----

### Formato RR - Registro-Registro

63	48 47	8 7	4 3	0
-----	-----	-----	-----	-----
OPCODE	0	RD	RS	
16 bits	40 bits	4bits	4bits	
-----	-----	-----	-----	-----

### Formato RI - Registro-Inmediato

63	48 47	44 43	0
-----	-----	-----	-----
OPCODE	RD	INMEDIATO	
16 bits	4 bits	44 bits	
-----	-----	-----	-----

### Formato I - Solo Inmediato

63	48 47	0
-----	-----	-----
OPCODE	INMEDIATO	

16 bits	48 bits	
+-----+-----+-----+		

## 4.3 Ensamblador (assembler.py)

### Análisis Sintáctico

```
class Assembler:
    def __init__(self):
        self.instructions = {}
        self.labels = {}
        self.current_address = 0

    def parse_instruction(self, line):
        # Eliminar comentarios
        if ';' in line:
            line = line[:line.index(';')]

        # Detectar etiquetas
        if ':' in line:
            label, instruction = line.split(':', 1)
            self.labels[label.strip()] = self.current_address
            line = instruction.strip()

        # Parsear instrucción
        parts = line.strip().split()
        if not parts:
            return None

        opcode = parts[0].upper()
        operands = parts[1:] if len(parts) > 1 else []

        return self.encode_instruction(opcode, operands)
```

### Generación de Código

```
def encode_instruction(self, opcode, operands):
    instruction_info = self.get_instruction_info(opcode)
    format_type = instruction_info['format']
    opcode_value = instruction_info['opcode']

    if format_type == 'OP':
        return opcode_value << 48
    elif format_type == 'R':
        rd = self.parse_register(operands[0])
        return (opcode_value << 48) | (rd << 44)
    elif format_type == 'RR':
        rd = self.parse_register(operands[0])
        rs = self.parse_register(operands[1])
        return (opcode_value << 48) | (rd << 4) | rs
    # ... más formatos
```

## 4.4 Flujo de Ejecución

### Diagrama de Flujo Principal

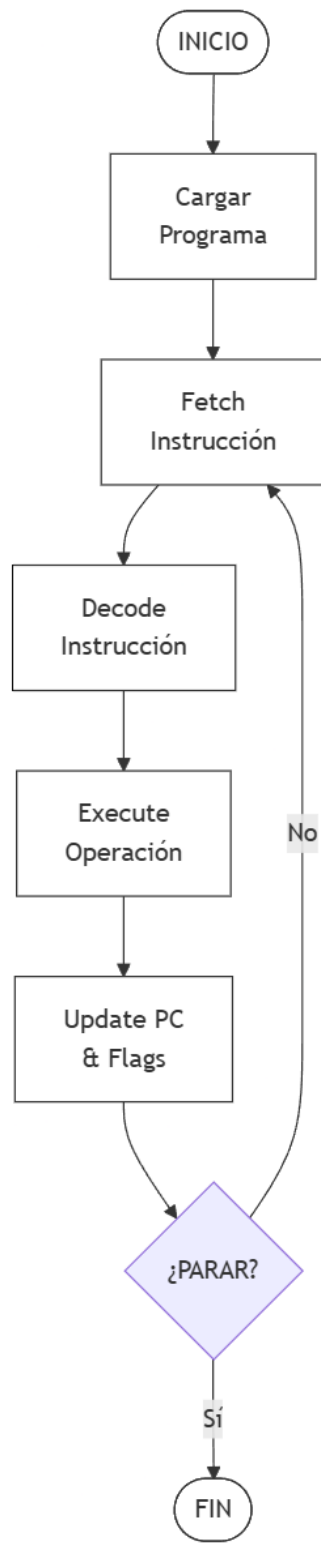


Figura 1: Diagrama de Flujo Principal

## 4.5 Interfaz Gráfica (GUI)

### 4.5.1 Componentes de la UI

#### 1. Visualizador de Estado

- Estado de registros R01-R15
- Flags de estado (Z, N, C, V)
- Contenido de memoria
- Dispositivos de E/S

#### 2. Controles de Ejecución

- Ejecutar programa completo
- Ejecución paso a paso
- Parar/Continuar
- Reset del sistema

#### 3. Monitor de E/S

- Visualización de salidas
- Entrada de datos
- Log de operaciones

### 4.5.2 Visor de RAM en tiempo real (novedad)

Se incorporó un visor de RAM completo accesible desde la GUI mediante el botón “Ver RAM”. Este abre una ventana con una tabla (Treeview) que muestra la memoria en filas de 8 bytes, alineada a la arquitectura de 64 bits. Características principales:

- Visualización por filas de 8 bytes: columnas Addr, B0...B7.
- Auto-actualización opcional con intervalo configurable (ms).
- Scroll vertical y horizontal para navegar todo el espacio de memoria.
- Botón “Refrescar” para actualización manual.

Esta vista está conectada directamente a la RAM del simulador (self.cpu.memory), por lo que refleja en tiempo real los cambios que produce la ejecución del programa o las operaciones de memoria.

### 4.5.2 Limpieza de RAM desde la interfaz (novedad)

Se añadió el botón “Limpiar RAM” al examinador de memoria. Al activarlo:

- Se solicita confirmación al usuario.
- Se pone toda la RAM en cero de forma eficiente.
- Se persiste inmediatamente al archivo de memoria (ver sección 6.2.1).
- Si el visor de RAM está abierto, se refresca automáticamente para reflejar el estado limpio.

Además, se mejoró el layout del examinador de memoria para aprovechar mejor el ancho disponible (campos expandibles y alineados), facilitando lectura y edición.

## 4.6 Flujo del Compilador SPL (Preprocesador → Analizador Léxico → Sintáctico → IR → Opt → Ensamblador → Enlazador/Cargador)

El siguiente diagrama resume la cadena de herramientas para el SPL del Taller 1.

#### 4.6.1 Pipeline general (fases)

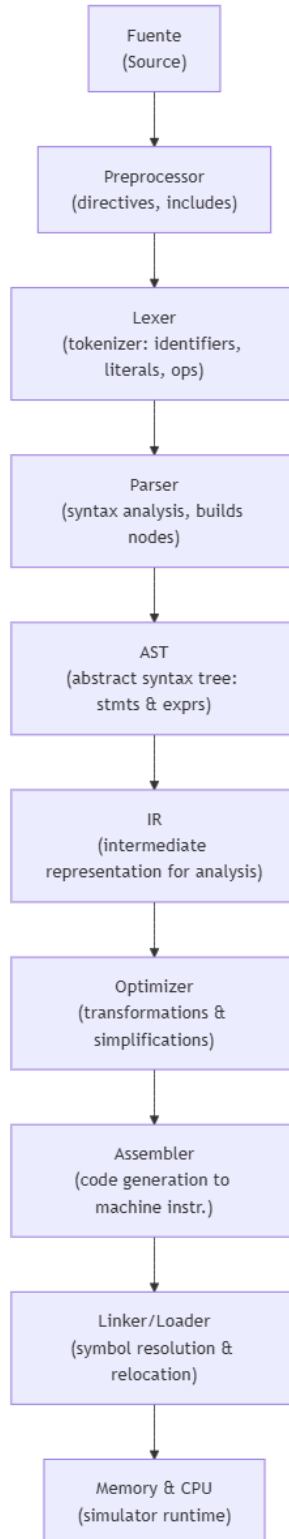


Figura 2: Pipeline general (fases)



**Definiciones:**

- Preproc: transforma y normaliza el código fuente (p. ej. directivas, includes, limpieza).
- Lexer: convierte texto en tokens (IDs, números, operadores).
- Parser: aplica la gramática y construye el AST.
- AST: representación en árbol de la estructura sintáctica.
- IR: representación intermedia para análisis/optimización.
- Opt.: optimizador opcional.
- Assembler: genera instrucciones binarias.
- Linker/Loader: reubica y combina módulos, carga en memoria.
- Mem/CPU: memoria y simulador donde se ejecuta el binario.

#### 4.6.2 Flujo de tokens → árbol sintáctico → AST

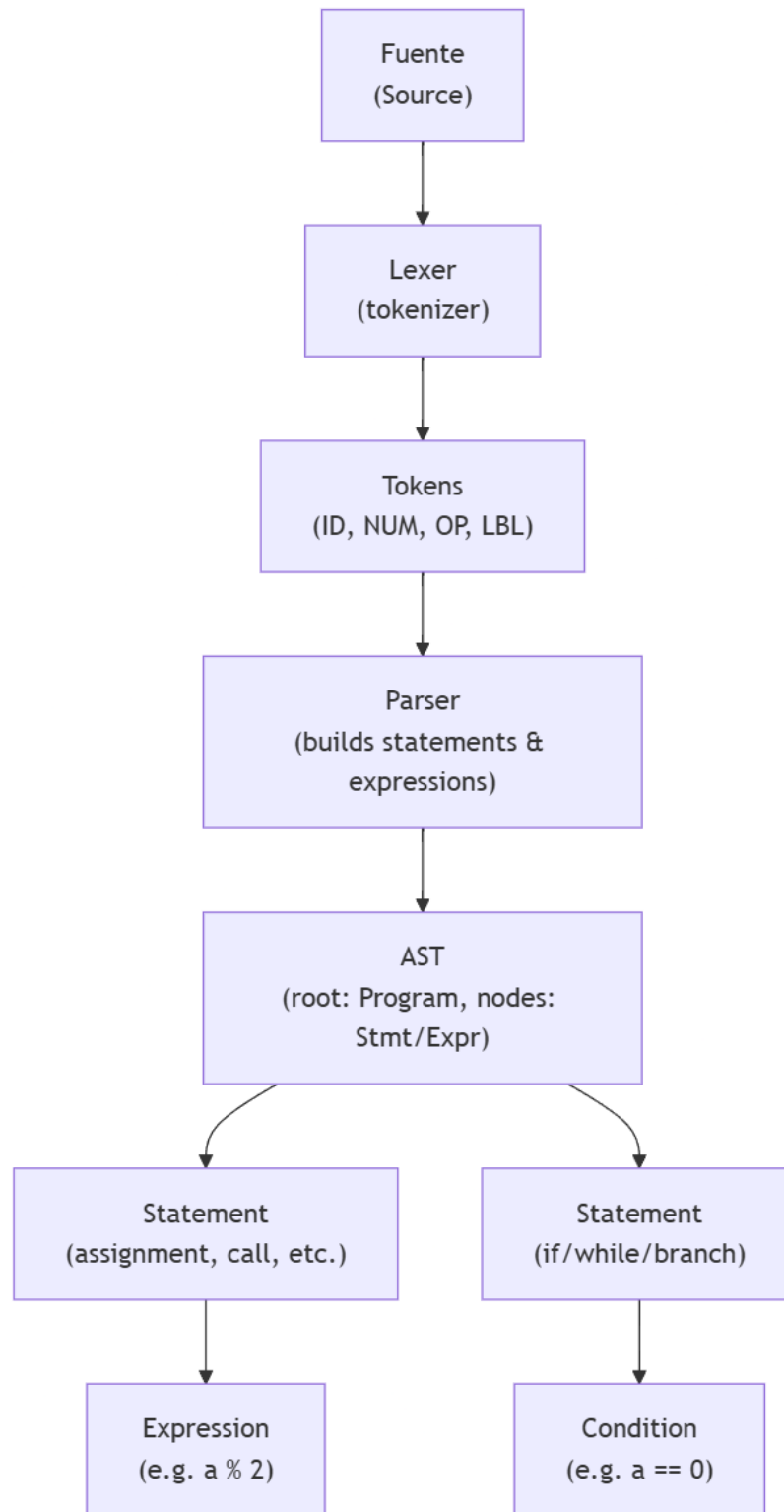


Figura 3: Flujo de tokens → árbol sintáctico → AST

**Definiciones:** + Parsing: proceso que toma tokens y aplica la gramática para reconocer construcciones (producciones) y crear nodos sintácticos. + Stmt (Statement): unidad ejecutable del programa, ej: asignación, if, while, return. + AST: estructura de datos en forma de árbol que representa la estructura jerárquica del programa.

#### 4.6.3 Optimización y generación final

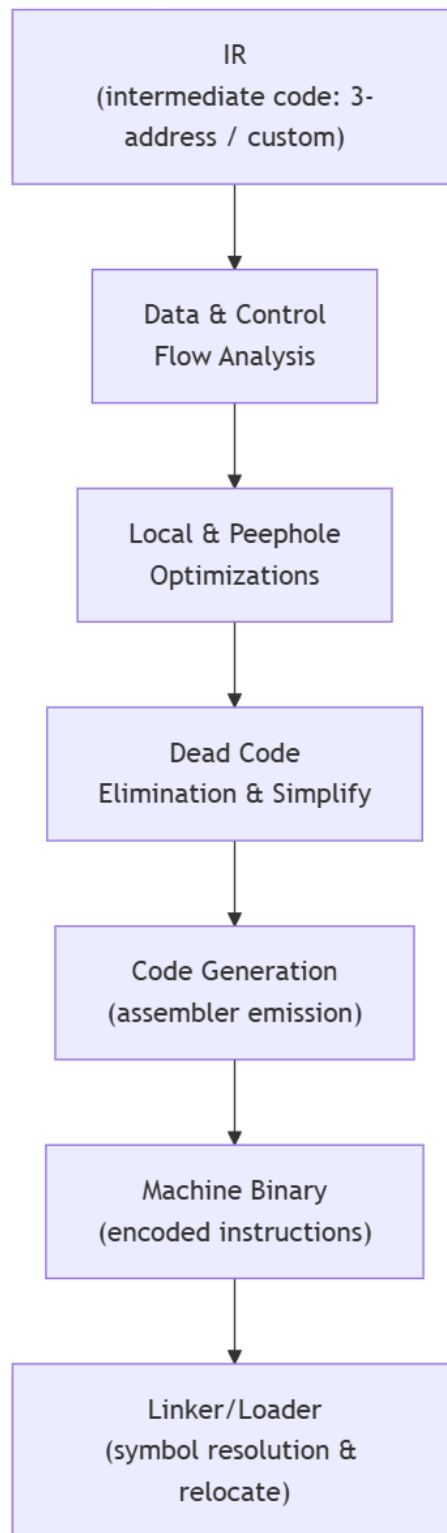


Figura 4: Optimización y generación final

**Definiciones:** + IR: formato intermedio entre parser y generador que permite análisis y transformaciones. + Análisis de flujo: computa dependencias/alcances (p. ej. dominadores, live-variables). + Optimización local: mejoras dentro de bloques (p. ej. const-fold). + Eliminación de código muerto: borrar instrucciones no usadas. + Codegen/Assembler: genera instrucciones binarias finales. + Binario: secuencia de instrucciones lista para cargar/ejecutar. + Linker: reubica símbolos y combina módulos en ejecutable.

Descripción rápida de cómo esto encaja con el repositorio actual:

- En esta entrega el ensamblador (`compiler/assembler.py`) implementa el generador de instrucción (CODEGEN) y el desensamblador. El Loader (`logic/Loader.py`) realiza la función del enlazador/cargador (reubicación simple, escritura a memoria y registro de programas cargados).

## 4.7 Especificación Léxica del Lenguaje

### Keywords

- si
- si\_no
- mientras
- para
- romper
- continuar
- vacio
- constante
- entero2
- entero4
- entero8
- caracter
- cadena
- con\_signo
- sin\_signo
- flotante
- doble
- booleano
- funcion
- retornar
- nuevo
- eliminar

### Identificadores

Empiezan por letra mayúscula o minúscula.

- Nombres de variables
- Nombres de funciones

### Constantes

- Enteros: 10, -25, 0xFF (decimal y hexadecimal)
- Flotantes: 3.14, 2.0e3
- Caracteres: 'A', '\n'
- Cadenas: "Hola, Mundo"
- Booleanos: True or False

### Comentarios

- /\*

- \*/
- //

## Operadores

- Asignación y compuestos: =, +=, -=, \*=, /=, %=
- Incremento / decremento: ++, --
- Aritméticos: +, -, \*, /, %
- Bitwise: &, |, ^
- Comparación: ==, !=, <, <=, >, >=
- Lógicos: &&, ||

## Delimitadores

- Llaves: { }
- Paréntesis: ( )
- Punto y coma: ;
- Coma: ,
- Corchetes: [ ]
- Comillas: " " y ' '

## Expresiones regulares

- digito: [0-9]
- numero\_entero: -? digito+
- numero\_decimal: -? digito+ (\.digito+)?([eE] [-+]?{digito}+)?
- caracter: \'([^\'\\]|\\[ntr0'\"])\'
- cadena: \"([^\"]|\\.)\*\" \"[^\"\\n]\*\"
- booleano: verdadero | falso
- comentario: (\\/\\/[^\\n]\*|\\/\\\*([^\\*]|\\\*+[^\*\\/])\*\\*+\\/)
- identificadores: [a-zA-Z\_][a-zA-Z0-9\_]\*

## 5. Manual Técnico y de Usuario

### 5.1 Instalación y Configuración

#### Requisitos del Sistema

**Requisitos Mínimos:** - Python 3.8 o superior - 512 MB de RAM - 100 MB de espacio en disco - Sistema operativo: Windows 10/11, Linux (Ubuntu 18.04+), macOS 10.14+

**Requisitos Recomendados:** - Python 3.10+ - 2 GB de RAM - Monitor con resolución mínima 1024x768 - Tarjeta gráfica con soporte para aceleración 2D

#### Proceso de Instalación

##### 1. Descargar el proyecto

```
git clone https://github.com/usuario/maquina_lenguajes.git
cd maquina_lenguajes
```

##### 2. Verificar Python

```
python --version # Debe ser 3.8+
```

##### 3. Ejecutar simulador

```
python main.py
```

### 5.2 Manual de Usuario

#### Inicio Rápido

##### Primer Programa

1. Abrir la aplicación ejecutando `python main.py` desde la raíz del repositorio (la misma carpeta que contiene `main.py`)
2. En el editor, escribir:

```
LOADV R1, 10    ; Cargar 10 en registro R1
LOADV R2, 5     ; Cargar 5 en registro R2
ADD R1, R2      ; Sumar R1 + R2
SVIO R1, 0x100  ; Guardar resultado en E/S
SHOWIO 0x100    ; Mostrar resultado
PARAR          ; Terminar programa
```

3. Hacer clic en “Ejecutar”
4. Observar el resultado en el monitor de E/S

#### Referencia del Lenguaje Assembly

##### Sintaxis General

```
[ETIQUETA:] INSTRUCCION [OPERANDO1] [, OPERANDO2] [; COMENTARIO]
```

##### Tipos de Operandos

- **Registros:** R01, R02, ..., R15 (también R1, R2, ..., R15)
- **Valores inmediatos:** 123, 0x1A2B, 0b1010
- **Direcciones de memoria:** 0x1000, etiquetas
- **Etiquetas:** LOOP, FIN, DATOS

### Instrucciones por Categoría Control de Flujo:

```
PARAR          ; Terminar programa
NOP            ; No operación
JMP etiqueta   ; Salto incondicional
JEQ etiqueta   ; Saltar si Z=1
JNE etiqueta   ; Saltar si Z=0
JMI etiqueta   ; Saltar si N=1
JPL etiqueta   ; Saltar si N=0
```

### Operaciones Aritméticas:

```
ADD R1, R2      ; R1 = R1 + R2
SUB R1, R2      ; R1 = R1 - R2
MUL R1, R2      ; R1 = R1 * R2 (sin signo)
MULS R1, R2     ; R1 = R1 * R2 (con signo)
DIV R1, R2      ; R1 = R1 / R2
ADDV R1, 100    ; R1 = R1 + 100
SUBV R1, 50     ; R1 = R1 - 50
INC R1          ; R1 = R1 + 1
DEC R1          ; R1 = R1 - 1
```

### Operaciones Lógicas:

```
AND R1, R2      ; R1 = R1 & R2
OR R1, R2       ; R1 = R1 | R2
XOR R1, R2      ; R1 = R1 ^ R2
NOT R1          ; R1 = ~R1
ANDV R1, 0xFF   ; R1 = R1 & 0xFF
ORV R1, 0x80    ; R1 = R1 | 0x80
XORV R1, 0xFF   ; R1 = R1 ^ 0xFF
```

### Manejo de Memoria:

```
LOAD R1, 0x1000 ; R1 = Memoria[0x1000]
LOADV R1, 42    ; R1 = 42
STORE R1, R2     ; Memoria[R2] = R1
STOREV R1, 0x2000 ; Memoria[0x2000] = R1
CLEAR R1        ; R1 = 0
```

### Entrada/Salida:

```
SVIO R1, 0x100  ; IO[0x100] = R1
LOADIO R1, 0x100 ; R1 = IO[0x100]
SHOWIO 0x100    ; Mostrar IO[0x100]
CLRIO          ; Limpiar dispositivos entrada
RESETIO        ; Reset sistema E/S
```

### Ejemplos Prácticos

#### Programa: Factorial de un Número

```
; Calcular factorial de 5
MAIN:
    LOADV R1, 5      ; n = 5
    LOADV R2, 1      ; factorial = 1

    FACTORIAL_LOOP:
        CMPV R1, 0    ; Comparar n con 0
```



```

        JEQ MOSTRAR          ; Si n == 0, mostrar resultado

        MUL R2, R1           ; factorial *= n
        DEC R1               ; n--
        JMP FACTORIAL_LOOP   ; Repetir

MOSTRAR:
        SVIO R2, 0x200       ; Guardar resultado
        SHOWIO 0x200         ; Mostrar factorial = 120
        PARAR                ; Terminar

```

### Programa: Búsqueda del Máximo

```

; Encontrar el máximo de tres números
MAIN:
        LOADV R1, 25         ; primer número
        LOADV R2, 18         ; segundo número
        LOADV R3, 31         ; tercer número
        CLEAR R4             ; máximo actual

        ; Comparar R1 con máximo actual
        CMP R1, R4
        JMI NO_ACTUALIZAR1
        LOADV R4, R1         ; R4 = R1

NO_ACTUALIZAR1:
        ; Comparar R2 con máximo actual
        CMP R2, R4
        JMI NO_ACTUALIZAR2
        LOADV R4, R2         ; R4 = R2

NO_ACTUALIZAR2:
        ; Comparar R3 con máximo actual
        CMP R3, R4
        JMI MOSTRAR
        LOADV R4, R3         ; R4 = R3

MOSTRAR:
        SVIO R4, 0x300       ; Guardar máximo
        SHOWIO 0x300         ; Mostrar máximo = 31
        PARAR

```

## 5.3 Manual Técnico

### API del Sistema

#### Clase CPU

```

class CPU:
    def __init__(self, memory_size=25000):
        """Inicializar CPU con tamaño de memoria especificado"""

    def load_program(self, program_bytes, start_address=0):
        """Cargar programa en memoria"""

```

```

def step(self):
    """Ejecutar una instrucción"""

def run(self):
    """Ejecutar programa hasta PARAR"""

def reset(self):
    """Reiniciar estado del procesador"""

def get_state(self):
    """Obtener estado completo del sistema"""

```

## Clase Assembler

```

class Assembler:
    def assemble(self, source_code):
        """Ensamblar código fuente a bytecode"""

    def parse_line(self, line):
        """Parsear línea individual de assembly"""

    def resolve_labels(self):
        """Resolver direcciones de etiquetas"""

```

## Estructura de Datos Interna

### Formato de Instrucción en Memoria

```

# Instrucción de 64 bits almacenada como entero
instruction = (opcode << 48) | (operand1 << 32) | operand2

# Extracción de campos
opcode = (instruction >> 48) & 0xFFFF
rd = (instruction >> 44) & 0xF
rs = instruction & 0xF
immediate = instruction & 0xFFFFFFFFFFFF

```

### Estado del Procesador

```

cpu_state = {
    'registers': [0] * 16,          # R00-R15
    'flags': {
        'Z': False,                # Zero flag
        'N': False,                # Negative flag
        'C': False,                # Carry flag
        'V': False,                # Overflow flag
    },
    'pc': 0,                        # Program counter
    'memory': Memory(),             # Sistema de memoria
    'io': IOSystem(),               # Sistema E/S
    'running': False                # Estado de ejecución
}

```

## Extensibilidad

### Agregar Nueva Instrucción

1. Definir opcode en `instruction_set.py`
2. Implementar lógica en `CPU.execute_instruction()`
3. Agregar parsing en `Assembler.parse_instruction()`
4. Actualizar documentación

### Ejemplo de Extensión

```
# Agregar instrucción SQRT (raíz cuadrada)
def execute_sqrt(self, operands):
    rd = operands['rd']
    value = self.registers[rd]
    result = int(math.sqrt(value))
    self.registers[rd] = result
    self.update_flags(result)
```

## 6. Especificaciones Técnicas

### 6.1 Arquitectura del Procesador

#### Especificaciones Generales

Característica	Especificación
<b>Arquitectura</b>	64 bits, RISC
<b>Endianness</b>	Little-endian
<b>Tamaño de palabra</b>	64 bits (8 bytes)
<b>Bus de direcciones</b>	44 bits (16 TB direccionables)
<b>Bus de datos</b>	64 bits
<b>Registros generales</b>	16 (R00-R15)
<b>Tamaño de registro</b>	64 bits
<b>Modelo de memoria</b>	von Neumann unificado

#### Conjunto de Instrucciones Completo

##### Instrucciones de Control (7)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0000	PARAR	OP	Terminar ejecución
0x0001	NOP	OP	No operación
0x0090	JMP	I	Salto incondicional
0x0091	JEQ	I	Salto si Z=1
0x0092	JNE	I	Salto si Z=0
0x0093	JMI	I	Salto si N=1
0x0094	JPL	I	Salto si N=0

##### Instrucciones Aritméticas (9)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0010	ADD	RR	$Rd = Rd + Rs$
0x0011	SUB	RR	$Rd = Rd - Rs$
0x0012	MULS	RR	$Rd = Rd \times Rs$ (con signo)
0x0013	MUL	RR	$Rd = Rd \times Rs$ (sin signo)
0x0014	DIV	RR	$Rd = Rd / Rs$
0x0020	ADDV	RI	$Rd = Rd + \text{inmediato}$
0x0021	SUBV	RI	$Rd = Rd - \text{inmediato}$
0x0030	INC	R	$Rd = Rd + 1$
0x0031	DEC	R	$Rd = Rd - 1$

##### Instrucciones Lógicas (9)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0040	NOT	R	$Rd = \sim Rd$
0x0041	AND	RR	$Rd = Rd \& Rs$
0x0042	ANDV	RI	$Rd = Rd \& \text{inmediato}$
0x0043	OR	RR	$Rd = Rd   Rs$

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0044	ORV	RI	$Rd = Rd \mid \text{inmediato}$
0x0045	XOR	RR	$Rd = Rd \wedge Rs$
0x0046	XORV	RI	$Rd = Rd \wedge \text{inmediato}$
0x0050	SHL	R	Shift left lógico
0x0051	SHR	R	Shift right lógico

### Instrucciones de Memoria (7)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0060	LOAD	RI	$Rd = \text{Memoria}[\text{direccion}]$
0x0061	LOADV	RI	$Rd = \text{inmediato}$
0x0062	STORE	RR	$\text{Memoria}[Rs] = Rd$
0x0063	STOREV	RI	$\text{Memoria}[\text{direccion}] = Rd$
0x0064	CLEAR	R	$Rd = 0$
0x0070	CMP	RR	Comparar $Rd$ con $Rs$
0x0071	CMPV	RI	Comparar $Rd$ con inmediato

### Instrucciones de E/S (5)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x00A0	SVIO	RI	$IO[\text{direccion}] = Rd$
0x00A1	LOADIO	RI	$Rd = IO[\text{direccion}]$
0x00A2	SHOWIO	I	Mostrar $IO[\text{direccion}]$
0x00A3	CLRIO	OP	Limpiar dispositivos entrada
0x00A4	RESETIO	OP	Reset sistema E/S

### Instrucciones de Flags (8)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0080	CZF	OP	Clear Zero Flag
0x0081	SZF	OP	Set Zero Flag
0x0082	CNF	OP	Clear Negative Flag
0x0083	SNF	OP	Set Negative Flag
0x0084	CCF	OP	Clear Carry Flag
0x0085	SCF	OP	Set Carry Flag
0x0086	CDF	OP	Clear Overflow Flag
0x0087	SDF	OP	Set Overflow Flag

### Salto Condicionales Extendidos (2)

Opcode	Mnemónico	Formato	Descripción
0x0095	JMPCMY	I	Salto si $C=1$
0x0096	JMPCMN	I	Salto si $C=0$

**Total: 47 instrucciones implementadas**

## 6.2 Sistema de Memoria

### Configuración de Memoria

```
MEMORY_LAYOUT = {
    'PROGRAM_START': 0x0000,      # Inicio de código
    'DATA_START': 0x4000,         # Inicio de datos
    'STACK_START': 0x6000,        # Inicio de pila
    'IO_START': 0x8000,           # E/S mapeada
    'MEMORY_SIZE': 25000          # Tamaño total
}
```

### Mapa de Memoria

0x0000	+-----+
	Código Programa
	(16 KiB)
0x4000	+-----+
	Área de Datos
	(8 KiB)
0x6000	+-----+
	Pila
	(8 KiB)
0x8000	+-----+
	E/S Mapeada
	(resto hasta 64KiB)
0xFFFF	+-----+

#### 6.2.1 Persistencia de la RAM en archivo de texto (novedad)

La RAM del simulador ahora es persistente entre ejecuciones mediante un archivo de texto humanamente legible. Esto permite reanudar sesiones y depurar estados de memoria con facilidad.

- Ubicación del archivo: junto a `main.py`, con nombre `memory_ram.txt`.
- Ruta anclada de forma absoluta para evitar duplicados por cambios del directorio de trabajo.
- Carga automática al iniciar la aplicación (si el archivo existe) y guardado automático al salir.

Fragmento relevante en `main.py`:

```
from GUI.GUI import SimuladorGUI
from logic.Memory import Memory
from logic.CPU import CPU
import os

# Usar una ruta explícita para evitar archivos duplicados de RAM
BASE_DIR = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
RAM_FILE = os.path.join(BASE_DIR, "memory_ram.txt")

mem = Memory(2**16, memory_file=RAM_FILE)
cpu = CPU(mem)
app = SimuladorGUI(cpu)
app.mainloop()
```

**6.2.1.1 Formato del archivo de memoria** El archivo se escribe en líneas de 8 bytes (64 bits), alineado con el tamaño de palabra de la arquitectura. Ejemplo de línea:

```
0000: 00 00 00 00 00 00 00 00
```

```
0008: 00 61 10 00 00 00 00 0A
0010: 00 61 20 00 00 00 00 05
```

- La parte izquierda muestra la dirección base de la fila (en hex). Cada fila avanza de 8 en 8 bytes.
- A la derecha se listan 8 bytes en hexadecimal, separados por espacio.
- Se permiten comentarios con # o ;, que se ignoran al leer.

**6.2.1.2 Carga/guardado y API de memoria** La clase `logic/Memory.py` expone operaciones para persistencia y mantenimiento:

- `load_from_txt(path: str)`: carga el contenido del archivo a la RAM, ignorando comentarios y direcciones si están presentes.
- `save_to_txt(path: str)`: vuelca toda la RAM al archivo en el formato anterior.
- `clear()`: pone toda la memoria en cero de forma eficiente.

Estas funciones se integran con la GUI: al limpiar la RAM desde el botón correspondiente, se ejecuta `clear()` y se guarda de inmediato en `memory_ram.txt`.

**6.2.1.3 Alineamiento de direcciones en el visor** En la tabla del visor, las direcciones avanzan como 0x0000, 0x0008, 0x0010, .... Esto se debe a que la arquitectura opera con palabras de 64 bits (8 bytes), por lo que la presentación por filas de 8 bytes facilita la lectura de instrucciones y datos alineados.

## ## 6.3 Sistema de E/S

### ### Direcciones de E/S Reservadas

Dirección	Propósito	Acceso
0x8000-0x80FF	Pantalla virtual	R/W
0x8100-0x81FF	Teclado virtual	R
0x8200-0x82FF	Almacenamiento temporal	R/W
0x8300-0x83FF	Debugging/Logging	W

### ### Protocolo de Comunicación

```
```python
# Escribir a dispositivo
SVIO R1, 0x8000      # IO[0x8000] = R1

# Leer de dispositivo
LOADIO R1, 0x8100    # R1 = IO[0x8100]

# Mostrar en pantalla
SHOWIO 0x8000        # Mostrar contenido de IO[0x8000]
```

## 7. Documentación de Experimentación y Resultados

Se presentan los experimentos realizados sobre el analizador lexico desarrollado, con el objetivo de probar y validar el correcto funcionamiento del analizador en la identificación de categorías léxicas y su clasificación en tokens. Para esto en cada escenario se procesa una cadena de caracteres correspondiente a un programa en alto nivel, que debe ser aceptado por el analizador léxico.

### 7.1 Escenario 1

Para este escenario se toma la cadena de caracteres correspondiente al un código en alto nivel que determina si un entero es par o impar

```
funcion entero4 espar(entero4 a) {  
    a = a%2;  
    booleano resultado = 0;  
    si(a%2 == 0){  
        resultado = 1;  
    }  
    si_no{  
        resultado = 0;  
    }  
    retornar resultado;  
}
```

Retornando como resultado del análisis

```
LexToken(FUNCION, 'funcion', 3, 30)  
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 38)  
LexToken(ID, 'espar', 3, 46)  
LexToken(PARIZQ, '(', 3, 51)  
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 52)  
LexToken(ID, 'a', 3, 60)  
LexToken(PARDER, ')', 3, 61)  
LexToken(LLAVEIZQ, '{', 3, 63)  
LexToken(ID, 'a', 4, 73)  
LexToken(ASIGNAR, '=', 4, 75)  
LexToken(ID, 'a', 4, 77)  
LexToken(MOD, '%', 4, 78)  
LexToken(ENTERO, 2, 4, 79)  
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 4, 80)  
LexToken(BOOLEANO, 'booleano', 5, 90)  
LexToken(ID, 'resultado', 5, 99)  
LexToken(ASIGNAR, '=', 5, 109)  
LexToken(ENTERO, 0, 5, 111)  
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 5, 112)  
LexToken(SI, 'si', 6, 122)  
LexToken(PARIZQ, '(', 6, 124)  
LexToken(ID, 'a', 6, 125)  
LexToken(MOD, '%', 6, 126)  
LexToken(ENTERO, 2, 6, 127)  
LexToken(IGUAL, '==', 6, 129)  
LexToken(ENTERO, 0, 6, 132)  
LexToken(PARDER, ')', 6, 133)  
LexToken(LLAVEIZQ, '{', 6, 134)  
LexToken(ID, 'resultado', 7, 148)  
LexToken(ASIGNAR, '=', 7, 158)
```



```

LexToken(ENTERO,1,7,160)
LexToken(PUNTOCOMA,','; ',7,161)
LexToken(LLAVEDER, '}',8,171)
LexToken(SINO, 'si_no',9,181)
LexToken(LLAVEIZQ, '{',9,186)
LexToken(ID, 'resultado',10,200)
LexToken(ASIGNAR, '=',10,210)
LexToken(ENTERO,0,10,212)
LexToken(PUNTOCOMA,','; ',10,213)
LexToken(LLAVEDER, '}',11,223)
LexToken(RETORNAR, 'retornar',12,233)
LexToken(ID, 'resultado',12,242)
LexToken(PUNTOCOMA,','; ',12,251)
LexToken(LLAVEDER, '}',13,257)

```

## 7.2 Escenario 2

Para este escenario se toma la cadena de caracteres correspondiente al un codigo del algoritmo de euclides

```

funcion entero4 euclides(entero4 a, entero4 b) {
    mientras(b != 0) {
        entero4 temp = b;
        b = a % b;
        a = temp;
    }
    retornar a;
}

```

Retornando como resultado del analisis

```

LexToken(FUNCION, 'funcion',3,30)
LexToken(ENTERO4, 'entero4',3,38)
LexToken(ID, 'euclides',3,46)
LexToken(PARIZQ, '(',3,54)
LexToken(ENTERO4, 'entero4',3,55)
LexToken(ID, 'a',3,63)
LexToken(COMA, ',',3,64)
LexToken(ENTERO4, 'entero4',3,66)
LexToken(ID, 'b',3,74)
LexToken(PARDER, ')',3,75)
LexToken(LLAVEIZQ, '{',3,77)
LexToken(MIENTRAS, 'mientras',4,87)
LexToken(PARIZQ, '(',4,95)
LexToken(ID, 'b',4,96)
LexToken(DISTINTO, '!=',4,98)
LexToken(ENTERO,0,4,101)
LexToken(PARDER, ')',4,102)
LexToken(LLAVEIZQ, '{',4,104)
LexToken(ENTERO4, 'entero4',5,118)
LexToken(ID, 'temp',5,126)
LexToken(ASIGNAR, '=',5,131)
LexToken(ID, 'b',5,133)
LexToken(PUNTOCOMA,','; ',5,134)
LexToken(ID, 'b',6,148)
LexToken(ASIGNAR, '=',6,150)
LexToken(ID, 'a',6,152)

```

```

LexToken(MOD, '%', 6, 154)
LexToken(ID, 'b', 6, 156)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 6, 157)
LexToken(ID, 'a', 7, 171)
LexToken(ASIGNAR, '=', 7, 173)
LexToken(ID, 'temp', 7, 175)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 7, 179)
LexToken(LLAVEDER, '}', 8, 189)
LexToken(RETORNAR, 'retornar', 9, 199)
LexToken(ID, 'a', 9, 208)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 9, 209)
LexToken(LLAVEDER, '}', 10, 215)

```

### 7.3 Escenario 3

Para este escenario se toma la cadena de caracteres correspondiente al un código que calcula el determinante de una matriz cuadrada 2x2

```

funcion entero4 determinante(entero4 x1, entero4 x2, entero4 y1, entero4 y2){
    entero8 det = (x1 * y2) - (x2 * y1);
    retornar det;
}

```

Retornando como resultado el análisis

```

LexToken(FUNCION, 'funcion', 3, 30)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 38)
LexToken(ID, 'determinante', 3, 46)
LexToken(PARIZQ, '(', 3, 58)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 59)
LexToken(ID, 'x1', 3, 67)
LexToken(COMA, ',', 3, 69)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 71)
LexToken(ID, 'x2', 3, 79)
LexToken(COMA, ',', 3, 81)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 83)
LexToken(ID, 'y1', 3, 91)
LexToken(COMA, ',', 3, 93)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 95)
LexToken(ID, 'y2', 3, 103)
LexToken(PARDER, ')', 3, 105)
LexToken(LLAVEIZQ, '{', 3, 106)
LexToken(ENTERO8, 'entero8', 4, 116)
LexToken(ID, 'det', 4, 124)
LexToken(ASIGNAR, '=', 4, 128)
LexToken(PARIZQ, '(', 4, 130)
LexToken(ID, 'x1', 4, 131)
LexToken(MULT, '*', 4, 134)
LexToken(ID, 'y2', 4, 136)
LexToken(PARDER, ')', 4, 138)
LexToken(MENOS, '-', 4, 140)
LexToken(PARIZQ, '(', 4, 142)
LexToken(ID, 'x2', 4, 143)
LexToken(MULT, '*', 4, 146)
LexToken(ID, 'y1', 4, 148)
LexToken(PARDER, ')', 4, 150)

```

```

LexToken(PUNTOCOMA, ';', 4, 151)
LexToken(RETORNAR, 'retornar', 5, 161)
LexToken(ID, 'det', 5, 170)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 5, 173)
LexToken(LLAVEDER, '}', 6, 179)

```

## 7.4 Escenario 4

Para este escenario se toma la cadena de caracteres correspondiente al un código que calcula el determinante de una matriz cuadrada 2x2

```

funcion entero4 abs(entero4 con_signo a){
    si(a >= 0){
        retornar a;
    }
    si_no{
        absoluto = -1*a;
        retornar absoluto;
    }
}

```

Retornando como resultado el análisis

```

LexToken(FUNCION, 'funcion', 3, 30)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 38)
LexToken(ID, 'abs', 3, 46)
LexToken(PARIZQ, '(', 3, 49)
LexToken(ENTERO4, 'entero4', 3, 50)
LexToken(CON_SIGNO, 'con_signo', 3, 58)
LexToken(ID, 'a', 3, 68)
LexToken(PARDER, ')', 3, 69)
LexToken(LLAVEIZQ, '{', 3, 70)
LexToken(SI, 'si', 4, 80)
LexToken(PARIZQ, '(', 4, 82)
LexToken(ID, 'a', 4, 83)
LexToken(MAYORIGUAL, '>=', 4, 85)
LexToken(ENTERO, 0, 4, 88)
LexToken(PARDER, ')', 4, 89)
LexToken(LLAVEIZQ, '{', 4, 90)
LexToken(RETORNAR, 'retornar', 5, 104)
LexToken(ID, 'a', 5, 113)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 5, 114)
LexToken(LLAVEDER, '}', 6, 124)
LexToken(SINO, 'si_no', 7, 134)
LexToken(LLAVEIZQ, '{', 7, 139)
LexToken(ID, 'absoluto', 8, 153)
LexToken(ASIGNAR, '=', 8, 162)
LexToken(MENOS, '-', 8, 164)
LexToken(ENTERO, 1, 8, 165)
LexToken(MULT, '*', 8, 166)
LexToken(ID, 'a', 8, 167)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 8, 168)
LexToken(RETORNAR, 'retornar', 9, 182)
LexToken(ID, 'absoluto', 9, 191)
LexToken(PUNTOCOMA, ';', 9, 199)
LexToken(LLAVEDER, '}', 10, 209)

```

LexToken(LLAVEDER, '}', 11, 223)

## Análisis

Tras el análisis de los resultados obtenidos en los cuatro casos de prueba, se pudo comprobar que el analizador léxico identificó correctamente las categorías léxicas asociadas a cada una de las subcadenas en las cadenas de entrada. En todos los casos, los tokens generados coincidieron con los valores esperados de acuerdo con las reglas definidas en la gramática léxica del lenguaje.

Esto demuestra que las expresiones regulares implementadas en las definiciones de tokens son adecuadas para reconocer las estructuras básicas del lenguaje, como identificadores, palabras reservadas, operadores y delimitadores.

## 8. Conclusiones

El **Simulador Atlas CPU** representa una herramienta educativa completa que cumple exitosamente con los objetivos establecidos:

### Logros Principales

1. **Funcionalidad Completa:** 47 instrucciones implementadas y validadas
2. **Validación Exhaustiva:** Algoritmos clásicos verificados matemáticamente
3. **Documentación Integral:** Manuales técnicos y educativos completos
4. **Interfaz Intuitiva:** GUI diseñada para facilitar el aprendizaje
5. **Arquitectura Sólida:** Diseño modular y extensible

### Impacto Educativo

- **Experimentación:** Ambiente seguro para pruebas y errores
- **Comprensión:** Visualización directa de conceptos abstractos

**2025 - Grupo D - Universidad Nacional de Colombia**

**Simulador Atlas CPU - Hexacore Technologies Repositorio GitHub:** [https://github.com/JulianGomezN/maquina\\_lenguajes](https://github.com/JulianGomezN/maquina_lenguajes)