

ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS

Patricia Quiroga

libroweb



Alfaomega



ARQUITECTURA
DE COMPUTADORAS

ARQUITECTURA de COMPUTADORAS

Patricia Quiroga



Buenos Aires • Bogotá • México DF • Santiago de Chile

Quiroga, Irma Patricia.
Arquitectura de computadoras. - 1a ed. - Buenos Aires : Alfaomega
Grupo Editor Argentino, 20 10.
372 pp. ; 24 x 21 cm.

ISBN 978-987-1609-06-2

1. Informática. 2. Arquitectura de Computadoras. I. Título
CDD 621.39

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, su tratamiento informático y/o la transmisión por cualquier otra forma o medio sin autorización escrita de Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.

Edición: Damián Fernández
Corrección: Paula Smulevich y Silvia Mellino
Diseño de interiores: Juan Sosa
Diagramación de interiores: Diego Linares
Corrección de armado: Silvia Mellino
Revisión técnica: José Luis Hamkalo
Diseño de tapa: Diego Linares
Dibujos: Tomas L' Estrange

Internet: <http://www.alfaomega.com.co>

Todos los derechos reservados © 2010, por Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.
Paraguay 1307, PB, oficina 11

ISBN 978-987-1609-06-2

Queda hecho el depósito que prevé la ley 11.723

NOTA IMPORTANTE: La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A. no será jurídicamente responsable por errores u omisiones, daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

Los nombres comerciales que aparecen en este libro son marcas registradas de sus propietarios y se mencionan únicamente con fines didácticos, por lo que Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A. no asume ninguna responsabilidad por el uso que se dé a esta información, ya que no infringe ningún derecho de registro de marca. Los datos de los ejemplos y pantallas son ficticios, a no ser que se especifique lo contrario.

Los hipervínculos a los que se hace referencia no necesariamente son administrados por la editorial, por lo que no somos responsables de sus contenidos o de su disponibilidad en línea.

Primera reimpresión Colombia 2014 - Printed in Colombia 2014

Empresas del grupo:

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A.
Paraguay 1307 P.B. "11", Buenos Aires, Argentina, C.P. 1057
Tel.: (54-11) 4811-7183 / 8352
E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F., México, C.P. 03100
Tel.: (52-55) 5089-7740 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A.
Calle 62 No. 20 - 46 Esquina, Bogotá, Colombia
PBX (57-1) 746 0102 - Fax: (57-1) 210 0122
E-mail: cliente@alfaomegacolombiana.com

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
General del Canto 370-Providencia, Santiago, Chile
Tel.: (56-2) 235-4248 – Fax: (56-2) 235-5786
E-mail: agechile@alfaomega.cl

A mi hijo, Pablo J. Sabbatiello y a mi hija, Bárbara A. Sabbatiello, que me acompañan en todo momento.
A mis padres, María y Argentino Quiroga, a los que les debo el apoyo incondicional
a lo largo de mi vida personal y académica.

Patricia Quiroga

Agradecimientos

Al grupo de docentes que constituimos la Cátedra: Elvira Quiroga, Roberto Tenuta, Edgardo Leal, José Bellesi, Miguel Ángel Di Paolo, Mario Albarracín, Antonio Shütz, Rubén López, Eva Bernardez García, Silvana Panizzo, Hugo Borchert y muy especialmente a María Paz Colla, que colaboró en la creación de los PowerPoint y autoevaluaciones.

A la Dra. Alicia Ortiz, a la Lic. Patricia Machado, al Lic. Daniel Jaloff y al Lic. Julio César Liporace, que me han apoyado en la concreción de esta obra desde sus respectivas áreas de conocimiento.

Un profundo reconocimiento a Tanya Itzel Arteaga Ricci y Eduardo Espinosa Avila, profesores de la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), quienes realizaron varias observaciones sobre el manuscrito de esta obra.

Mensaje del Editor

Los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional. Sin ellos es imposible lograr las habilidades para competir laboralmente. La Universidad o las instituciones de formación para el trabajo ofrecen la oportunidad de adquirir conocimientos que serán aprovechados más adelante en beneficio propio y de la sociedad. El avance de la ciencia y de la técnica hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos. Cuando se toma la decisión de embarcarse en una vida profesional, se adquiere un compromiso de por vida: mantenerse al día en los conocimientos del área u oficio que se ha decidido desempeñar.

Alfaomega tiene por misión ofrecer conocimientos actualizados a estudiantes y profesionales, dentro de lineamientos pedagógicos que faciliten su utilización y permitan desarrollar las competencias requeridas por una profesión determinada. Alfaomega espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.

Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las tecnologías de la información y las comunicaciones (IT) para facilitar el aprendizaje. Libros como éste tienen su complemento en una página Web, en donde el alumno y su profesor encontrarán materiales adicionales, información actualizada, pruebas (test) de autoevaluación, diapositivas y vínculos con otros sitios Web relacionados.

Esta obra contiene numerosos gráficos, cuadros y otros recursos para despertar el interés del estudiante y facilitarle la comprensión y apropiación del conocimiento.

Cada capítulo se desarrolla con argumentos presentados en forma sencilla y estructurada claramente hacia los objetivos y metas propuestas. Cada uno de ellos concluye con diversas actividades pedagógicas para asegurar la asimilación del conocimiento y su extensión y actualización futuras.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje y pueden ser usados como textos guía en diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional.

Alfaomega espera contribuir así a la formación y el desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad.

Sobre la autora



Ing. Patricia Quiroga

Analista Universitario de Sistemas, egresada de la Universidad Tecnológica Nacional (Facultad Regional Buenos Aires).

Ingeniera en Informática, egresada de la Universidad Católica de Salta.

Especialista en Criptografía y Seguridad Teleinformática, egresada del Instituto de Enseñanza Superior del Ejército.

Secretaria Académica de las Carreras Ingeniería en Informática, Ingeniería en Telecomunicaciones y Licenciatura en Informática en la Universidad Católica de Salta (Subsede Buenos Aires).

Titular de la Cátedra de Arquitectura de los Computadores de la Universidad Tecnológica Nacional (Facultad Regional Buenos Aires).

En el ámbito privado, se desempeña como Perito Informático.

Revisor técnico: Dr. José Luis Hamkalo

Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Sus áreas de interés son Arquitecturas de Computadoras y Jerarquías de Memoria. Es miembro del IEEE y de la ACM. Recibió los títulos de Ingeniero Electrónico y Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ingeniería.

Contenido

Capítulo 1

Evolución del procesamiento de datos	1
1.1 Organización y arquitectura de una computadora	2
1.2 Estratificación del software	3
1.3 Evolución del procesamiento de datos	4
1.3.1 Los comienzos de la computación	4
1.3.2 La primera máquina y su evolución	5
1.3.3 La máquina de tarjetas perforadas	5
1.3.4 La calculadora secuencial automática (IBM)	7
1.3.5 El programa almacenado	7
1.4 Clasificación de las computadoras	8
1.4.1 Analógicas	8
1.4.2 Digitales	8
1.4.3 Híbridas	9
1.5 Generaciones de computadoras digitales	9
1.5.1 Computadoras de 1ª generación	9
1.5.2 Computadoras de 2ª generación	9
1.5.3 Computadoras de 3ª generación	10
1.5.4 Computadoras de 4ª generación	11
1.5.5 Computadoras de 5ª generación	12
1.6 Procesamiento de datos y sistemas de información	13
1.7 Sistemas sincrónicos de propósito general	15
1.8 Arquitectura de computadoras: Los primeros conceptos	15
1.9 Arquitectura de una unidad central de proceso (CPU)	17
1.10 Lógica digital y componentes electrónicos	18
1.11 El Sistema Operativo. La Dinámica del Sistema	23
1.12 Resumen	23
1.13 Contenido de la página Web de apoyo	24

Capítulo 2

Sistemas numéricos	25
2.1 Introducción	26
2.2 Sistemas de notación posicional	26
2.2.1 Expresión generalizada de un número en potencias de su base	26
2.2.2 Sistema decimal	26
2.2.3 Sistema binario	27
2.2.4 Sistema octal	27

2.2.5 Sistema hexadecimal	28
2.2.6 Número de cifras. Cantidad decimal máxima	29
2.3 Métodos de conversión de números enteros y fraccionarios	30
2.3.1 Método de conversión de números de otras bases a decimal	30
2.3.2 Método de divisiones sucesivas (para convertir un número entero decimal a otras bases)	31
2.3.3 Método de multiplicaciones (para convertir un número fraccionario decimal a otras bases)	32
2.3.4 Pasaje directo entre las bases 2 a 8 y 2 a 16	35
2.4 Operaciones fundamentales en binario	37
2.4.1 Suma	37
2.4.2 Resta o sustracción	37
2.5 Operaciones fundamentales en octal y hexadecimal	39
2.5.1 Suma octal	40
2.5.2 Técnica para sumar números grandes en cualquier base	40
2.5.3 Suma hexadecimal	41
2.6 Complemento de un número	42
2.6.1 Complemento a la base, a la raíz o auténtico	43
2.6.2 Su utilización para la representación de binarios negativos complementados a "2"	43
2.6.3 Complemento a la base -1 o restringido	43
2.6.4. Su utilización para la representación de binarios negativos complementados a "1"	44
2.7 Resumen	44
2.8 Ejercicios propuestos	46
2.9 Contenido de la página Web de apoyo	47

Capítulo 3

Representación de datos en la computadora	49
3.1 Introducción	50
3.2 Flujo de datos dentro de una computadora	50
3.3 Códigos de representación de caracteres alfanuméricos ..	53
3.3.1 Código ASCII	53
3.3.2 Código ASCII ampliado	54
3.3.3 Delimitación de <i>strings</i>	55
3.4 Códigos de representación decimal (BCD)	56
3.4.1 BCD puro o natural	56
3.4.2 BCD exceso tres	58
3.4.3 BCD AIKEN o 2421	58
3.5 Códigos de representación numérica no decimal	59
3.5.1 Coma o punto fijo sin signo (enteros positivos)	59
3.5.2 Coma o punto fijo con signo (enteros)	60

3.5.3 Coma o punto fijo con signo con negativos complementados a "2" (enteros)	60	5.5.3 "Compuerta OR EXCLUSIVE" o "compuerta exclusiva"	96
3.5.4 Coma o punto fijo con signo con negativos complementados a "1" (enteros)	61	5.5.4 "Compuerta NOT" o "inversión"	96
3.5.5 Reales en coma o punto flotante (números muy grandes y números reales)	62	5.5.5 "Compuertas con funciones negadas"	97
3.6 Representaciones redundantes	68	5.6 Circuito lógico	99
3.6.1 Códigos de detección y/o corrección de errores. Introducción	68	5.6.1 Transistor	100
3.6.2 Paridad vertical simple o a nivel carácter	68	5.6.2 Compuerta triestado	101
3.6.3 Paridad horizontal a nivel de bloque	68	5.7 Circuito sumador-binario en paralelo	102
3.6.4 Paridad entrelazada	68	5.7.1 Circuito semisumador (SS) o <i>Half Adder</i> (HA)	103
3.6.5 Código de Hamming	69	5.7.2 Circuito sumador completo (SC) o <i>Full Adder</i> (FA) ..	103
3.7 Resumen	71	5.8 Formas normales o canónicas de una función	104
3.8 Ejercicios propuestos	71	5.8.1 Forma normal disyuntiva	105
3.9 Contenido de la página Web de apoyo	72	5.8.2 Forma normal conjuntiva	105
Capítulo 4		5.9 Circuitos equivalentes	107
Aritmética de la computadora	73	5.10 Minimización de circuitos	108
4.1 Introducción	74	5.10.1 Ejemplos de minimización a partir de distintos mapas de Karnaugh de 2, 3 y 4 variables	109
4.2 Aritmética binaria	74	5.11 Resumen	110
4.2.1 Representación de datos en punto fijo (binarios enteros)	74	5.12 Ejercicios propuestos	111
4.2.2 Operaciones aritméticas con enteros signados	75	5.13 Contenido de la página Web de apoyo	112
4.2.3 Operaciones aritméticas en punto flotante	78	Capítulo 6	
4.3 Aritmética decimal	79	Lógica digital	113
4.3.1 Operaciones con operandos BCD	80	6.1 Introducción	114
4.4 Resumen	84	6.2 Circuitos lógicos de sistemas digitales	114
4.5 Ejercicios propuestos	85	6.3 Circuitos combinacionales	114
4.6 Contenido de la página Web de apoyo	86	6.3.1 Circuito generador de paridad	115
Capítulo 5		6.3.2 Circuito comparador de magnitud	116
Álgebra de Boole	87	6.3.3 Circuitos convertidores de código	117
5.1 Introducción	88	6.3.4 Circuitos codificadores	118
5.2 Álgebra de los circuitos digitales	88	6.3.5 Circuito decodificador de código	120
5.2.1 Elementos de Álgebra proposicional	88	6.3.6 Circuito decodificador $n \cdot 2n$	121
5.3 Álgebra de Boole	89	6.3.7 Circuitos multiplexores y demultiplexores	124
5.3.1 Operadores	89	6.3.8 Circuitos "programables" para múltiples funciones	127
5.3.2 Tablas de verdad	90	6.4 Circuitos secuenciales	131
5.3.3 Propiedades del Álgebra de Boole	90	6.4.1 Biestables o <i>flip-flops</i>	131
5.3.4 Teoremas del Álgebra de Boole	91	6.4.2 Registros	136
5.4 Función booleana	92	6.5 Resumen	141
5.5 Compuertas lógicas o <i>gates</i>	93	6.6 Ejercicios propuestos	142
5.5.1 "Compuerta AND", "compuerta y" o "compuerta producto lógico"	95	6.7 Contenido de la página Web de apoyo	143
5.5.2 "Compuerta OR", "compuerta +" o "compuerta suma lógica"	95	Capítulo 7	
		Diseño de una computadora digital	145
		7.1 Introducción	146
		7.2 Módulo de cálculo en una computadora digital	146
		7.3 Relación entre el diseño del hardware y la ejecución de instrucciones	147

7.3.1 Instrucciones	148	9.2.2 Clasificación según las operaciones que aceptan por cada acceso	210
7.4 Presentación del modelo de estudio	150	9.2.3 Clasificación según la duración de la información ...	210
7.4.1 Fase <i>fetch</i> : búsqueda de una instrucción en memoria	152	9.3 Dimensión de la memoria	210
7.4.2 Fase <i>execute</i>	157	9.4 Memorias RAM estáticas y dinámicas.....	211
7.4.3 Flujo de datos entre los registros de la computadora básica	161	9.4.1 Memorias SRAM (<i>Static Random Access Memory</i>) ..	211
7.4.4 Juego completo de instrucciones de "X"	163	9.4.2 Memorias DRAM (<i>Dynamic Random Access Memory</i>) ..	211
7.4.5 Unidad de control y sincronización del tiempo	165	9.4.3 RAM con acceso directo	211
7.4.6 El módulo de cálculo: unidad aritmético-lógica	170	9.4.4 RAM con acceso asociativo	215
7.5 Resumen	176	9.5 Jerarquía de memorias	215
7.6 Ejercicios propuestos	177	9.6 Memorias caché	217
7.7 Contenido de la página Web de apoyo	177	9.6.1 Principios de funcionamiento.....	220
Capítulo 8		9.6.2 <i>Caching</i>	221
Microprocesadores	179	9.6.3 Actualización de caché	225
8.1 Introducción	180	9.6.4 Actualización de la memoria principal	226
8.2 Microprocesadores y microcontroladores	180	9.6.5 Niveles de caché	227
8.2.1 Chips y microprocesadores.....	181	9.7 Memoria principal	227
8.3 Longitud de palabra	182	9.7.1 Memoria a nivel lógica digital	228
8.4 Capacidad de direccionamiento	182	9.7.2 Memorias RAM dinámicas.....	229
8.5 Número de instrucciones	183	9.8 La memoria como en un espacio lógico	233
8.6 Número de registros internos.....	184	9.8.1 Almacenamiento de bytes en memoria. <i>Big-Endian</i> y <i>Little-Endian</i>	234
8.6.1 Registros de uso general IA-16 e IA-32.....	185	9.8.2 Gestión de memoria y modos de operación de los procesadores.....	234
8.7 Velocidad del microprocesador	188	9.8.3 Modelo de memoria segmentada pura	236
8.8 Ciclo de instrucciones	188	9.8.4 Modelo de memoria virtual.....	236
8.8.1 Secuencia de llenado de la cola	190	9.8.5 Modelo de memoria virtual paginada o paginación por demanda.....	238
8.8.2 Etapas de ejecución de la rutina ejemplo.....	190	9.8.6 Memoria virtual segmentada o segmentación por demanda.....	239
8.9 Capacidad de interrupción	192	9.9 Administración de memorias externas	243
8.9.1 Concepto de pila	195	9.9.1 Archivos.....	244
8.10 Alimentación	199	9.9.2 Sistema de archivos en discos de tecnología magnética	246
8.11 Tecnología	200	9.9.3 Disco magnético desde el punto de vista lógico	246
8.11.1 CISC.....	200	9.9.4 <i>Buffers</i> y cachés de disco.....	253
8.11.2 RISC.....	200	9.9.5 Discos virtuales	254
8.11.3 EPIC.....	201	9.9.6 Sistema de archivos en discos de tecnología óptica	254
8.12 Resumen	202	9.10 Resumen.....	254
8.13 Ejercicios propuestos.....	203	9.11 Ejercicios propuestos	255
8.14 Contenido de la página Web de apoyo.....	205	9.12 Contenido de la página Web de apoyo.....	256
Capítulo 9		Capítulo 10	
Memorias.....	207	Instrucciones	257
9.1 Introducción	208	10.1 Introducción.....	258
9.2 Clasificación de memorias.....	209	10.2 Formato de instrucción	258
9.2.1 Clasificación según el modo de acceso a la unidad de información	209	10.2.1 Instrucciones sin dirección	258
		10.2.2 Instrucciones de una sola dirección	259

XIV	Contenido
10.2.3 Instrucciones de dos direcciones	260
10.2.4 Instrucciones de tres direcciones	261
10.2.5 Instrucciones de cuatro direcciones.....	261
10.3 Modos de direccionamiento.....	262
10.3.1 Direccionamiento directo de memoria.....	263
10.3.2 Direccionamiento implícito.....	263
10.3.3 Direccionamiento inmediato	264
10.3.4 Direccionamiento indirecto	264
10.3.5 Direccionamiento de la CPU asociado a registros .	265
10.3.6 Direccionamiento directo por registro.....	266
10.3.7 Direccionamiento indexado.....	266
10.3.8 Direccionamiento relativo a la base	267
10.3.9 Direccionamiento a una pila (<i>stack</i>)	268
10.4 Tipos válidos de instrucción	270
10.5 Resumen	271
10.6 Ejercicios propuestos	271
10.7 Contenido de la página Web de apoyo	275
 Capítulo 11	
Software del sistema.....	277
11.1 Introducción.....	278
11.2 Clasificación del software de sistema	278
11.3 Sistema operativo.....	278
11.3.1 Niveles de administración del sistema operativo ...	279
11.3.2 Tipos de sistemas operativos	281
11.4 Traductores de lenguaje	282
11.4.1 Ensambladores	282
11.4.2 Intérpretes	284
11.4.3 Compiladores	284
11.5 Resumen	285
11.6 Ejercicios propuestos	286
11.7 Contenido de la página Web de apoyo	288
 Capítulo 12	
Dispositivos de entrada/salida.....	289
12.1 Introducción.....	290
12.2 Discos rígidos	290
12.2.1 Controladora de disco	291
12.2.2 Especificaciones técnicas de un disco	291
12.2.3 Tiempos de acceso a disco.....	293
12.2.4 Tiempo de acceso a los datos.....	293
12.3 Dispositivos de almacenamiento removibles.....	294
12.3.1 Discos ópticos.....	294
12.3.2 Discos magneto-ópticos (MO).....	295
12.3.3 Tarjetas de memoria	296
12.3.4 Tarjetas ROM y OTP	296
12.3.5 Tarjetas SRAM	297
12.3.6 Tarjetas Flash	297
12.4 Resumen	297
12.5 Ejercicios propuestos	298
12.6 Contenido de la página Web de apoyo	298
 Capítulo 13	
Transferencias de información.....	299
13.1 Introducción.....	300
13.2 Buses.....	300
13.2.1 Jerarquía de buses	300
13.3 Dispositivos de entrada/salida	304
13.3.1 Controladores	306
13.3.2 Adaptadores	307
13.3.3 Puertos de entrada/salida	307
13.3.4 Interfaces	307
13.3.5 Canales o procesador E/S	309
13.3.6 Transferencias de entrada/salida.....	310
13.3.7 <i>Drivers</i>	310
13.4 Modalidades de entrada/salida.....	311
13.4.1 Transferencia controlada por programa	312
13.4.2 Transferencia iniciada por interrupción	313
13.4.3 Transferencia con acceso directo a memoria	313
13.5 Resumen	315
13.6 Ejercicios propuestos	315
13.7 Contenido de la página Web de apoyo	316
 Capítulo 14	
Procesadores avanzados.....	317
14.1 Introducción.....	318
14.2 Paralelismo a nivel instrucción.....	319
14.3 Paralelismo a nivel arquitectura	322
14.3.1 Taxonomía de Flynn. Una clasificación de arquitecturas paralelas	323
14.4 Descripción de microprocesadores avanzados.....	326
14.4.1 Descripción de la arquitectura Itanium	326
14.4.2 Descripción de la arquitectura AMD64	334
14.5 Resumen	339
14.6 Contenido de la página Web de apoyo	340
Bibliografía	341
Índice analítico	345

Información del contenido de la página Web



El material marcado con asterisco (*) sólo está disponible para docentes.

Capítulo 1. Evolución del procesamiento de datos

- Resumen gráfico del capítulo
- Autoevaluación
- Lecturas adicionales:
 - *Las comunicaciones. Conceptos básicos* de Antonio Castro Lechtaler y Ruben Fusario, es parte del libro “Telecomunicaciones para Ingenieros de Sistemas” (de próxima aparición) de Alfaomega Grupo Editor (64 páginas). Agradecemos a sus autores por permitir que su escrito sea parte de las lecturas complementarias de esta obra.
- Presentaciones*

Capítulo 2. Sistemas numéricos

- Resumen gráfico del capítulo
- Simulación
 - Herramienta interactiva que permite realizar conversiones y operaciones entre sistemas numéricos.
- Autoevaluación
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 3. Representación de datos en una computadora

- Resumen gráfico del capítulo
- Simulación
 - Permite ingresar un texto y lo codifica en ASCII.
- Autoevaluación
- Video explicativo (02:44 minutos aprox.)
- Audio explicativo (02:44 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 4. Aritmética de la computadora

- Resumen gráfico del capítulo
- Simulación
 - Resuelve el algoritmo de Booth paso a paso.
- Autoevaluación
- Video explicativo (02:13 minutos aprox.)
- Audio explicativo (02:13 minutos aprox.)

- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 5. Álgebra de Boole

- Resumen gráfico del capítulo
- Simulación
 - Herramienta interactiva que permite crear el diagrama lógico de una expresión booleana.
- Animación
 - Cómo trabajan los interruptores no mecánicos.
- Autoevaluación
- Lecturas adicionales:
 - *Álgebra booleana* de José A. Jiménez Murillo, es parte del libro “Matemáticas para la Computación” de Alfaomega Grupo Editor (42 páginas). Agradecemos a su autor por permitir que su escrito sea parte de las lecturas complementarias de esta obra.
- Video explicativo (01:44 minutos aprox.)
- Audio explicativo (01:44 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 6. Lógica digital

- Resumen gráfico del capítulo
- Simulación
 - Decodificador de dos entradas.
 - Display BCD siete segmentos.
- Autoevaluación
- Video explicativo (01:34 minutos aprox.)
- Audio explicativo (01:34 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 7. Diseño de una computadora digital

- Resumen gráfico del capítulo
- Animación
 - Demostración de las distintas fases de la CPU
- Autoevaluación
- Video explicativo (01:53 minutos aprox.)
- Audio explicativo (01:53 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 8. Microprocesadores

- Resumen gráfico del capítulo
- Autoevaluación
- Video explicativo (02:04 minutos aprox.)
- Audio explicativo (02:04 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 9. Memorias

- Resumen gráfico del capítulo
- Simulación
 - Ejercicios con memorias.
- Animación
 - Conceptos generales sobre memorias.
- Autoevaluación
- Lecturas adicionales
 - *Memoria* de Martín Silva, es parte del libro “Sistemas Operativos” de Alfaomega Grupor Editor (48 páginas). Agradecemos a su autor por permitir que su escrito sea parte de las lecturas complementarias de esta obra.
- Video explicativo (01:57 minutos aprox.)
- Audio explicativo (01:57 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 10. Instrucciones

- Resumen gráfico del capítulo
- Autoevaluación
- Video explicativo (02:57 minutos aprox.). Capítulos 10 y 11
- Audio explicativo (02:57 minutos aprox.). Capítulos 10 y 11
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 11. Software del sistema

- Resumen gráfico del capítulo
- Autoevaluación
- Lecturas adicionales:
 - *El proceso de compilación* de Gustavo López, Ismael Jelder y Augusto Vega, es parte del libro “Análisis y Diseño de Algoritmos” de Alfaomega Grupo Editor (16 páginas). Agradecemos a sus autores por permitir que su escrito sea parte de las lecturas complementarias de esta obra.

- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 12. Dispositivos de entrada / salida

- Resumen gráfico del capítulo
- Autoevaluación
- Video explicativo (01:39 minutos aprox.). Capítulos 12 y 13
- Audio explicativo (01:39 minutos aprox.). Capítulos 12 y 13
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 13. Transferencia de información

- Resumen gráfico del capítulo
- Autoevaluación
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Capítulo 14. Procesadores avanzados

- Resumen gráfico del capítulo
- Animación
 - Demostración de las ventajas del *Pipelining*.
- Autoevaluación
- Video explicativo (01:12 minutos aprox.)
- Audio explicativo (01:12 minutos aprox.)
- Evaluaciones Propuestas*
- Presentaciones*

Vínculos a páginas especialmente seleccionadas sobre Arquitectura de Computadoras.**Glosario**

Registro en la Web de apoyo

Para tener acceso al material de la página Web de apoyo del libro:




1. Ir a la página <http://virtual.alfaomega.com.mx>
2. Registrarse como usuario del sitio y propietario del libro.
3. Ingresar al apartado de inscripción de libros y registrar la siguiente clave de acceso

4. Para navegar en la plataforma virtual de recursos del libro, usar los nombres de Usuario y Contraseña definidos en el punto número dos. El acceso a estos recursos es limitado. Si quiere un número extra de accesos, escriba a webmaster@alfaomega.com.mx

Estimado profesor: Si desea acceder a los contenidos exclusivos para docentes, por favor contacte al representante de la editorial que lo suele visitar o escribanos a:

webmaster@alfaomega.com.mx

Convenciones utilizadas en el texto

	Conceptos para recordar: bajo este icono se encuentran definiciones importantes que refuerzan lo explicado en la página.
	Comentarios o información extra: este ícono ayuda a comprender mejor o ampliar el texto principal.
	Contenidos interactivos: indica la presencia de contenidos extra en la Web.

Prefacio

A lo largo de más de 20 años impartiendo la materia "Arquitectura de Computadoras" redacté una gran cantidad de escritos que resultan útiles para el dictado de mis clases. En conversaciones con colegas llegué a la conclusión de que esos escritos podían ser interesantes para otros docentes: es por eso que escribo este libro, para hacer extensivo mi trabajo a los profesores de otras universidades.

Algunos aportes surgen de la necesidad de explicar de forma más amena conceptos que no siempre son complejos, pero que, al ser producto de malas traducciones o de excesivo tecnicismo, quedan fuera del alcance de los alumnos; otros son aportes los necesarios para poder comprender la materia. En conjunto cubren los contenidos de la asignatura.

Introducción

El propósito de este libro es servir de guía en la enseñanza y el aprendizaje de la materia Arquitectura de Computadoras; para tal fin se organiza en catorce capítulos, orientados al conocimiento gradual de la asignatura.

En el capítulo 1 se introducen los conceptos básicos de la Ciencia de la Computación. Podemos clasificar la temática del capítulo en: conceptos de la Ciencia Informática, recursos de la Informática, elementos fundamentales del hardware, elementos fundamentales del software y estratificación del software. También incluye la clasificación en generaciones de computadoras.

El capítulo 2 tiene por fin la enseñanza de los distintos sistemas numéricos relacionados con el uso de la computadora y la técnica empleada para lograr encontrar las equivalencias entre ellos. Los sistemas de numeración son utilizados luego, en los dos capítulos siguientes, tanto para su operación aritmética (binario), como para la representación sintética de información binaria (octal y hexadecimal)

En el capítulo 3 se desarrollan los conceptos de los sistemas de numeración desde el punto de vista de su relación con la computadora, ya sea para entidades numéricas o alfanuméricas, se introduce el concepto de código y se explica la relación entre el convenio de representación y la declaración de variables en el lenguaje de programación. Se explica la determinación de los rangos de representación en formato de n bits y ciertas consideraciones relacionadas con la precisión de los números; se justifica el uso de variables binarias en la representación, tratamiento y transferencia de información.

El capítulo 4 detalla distintos métodos de operaciones aritméticas, que se desprenden de cómo operan las unidades de cálculo (unidad de enteros y unidad de coma flotante) para binarios de coma fija (enteros) y para binarios de coma flotante. Se introducen las condiciones de *underflow* y *overflow* en resultados y los códigos más sencillos que se utilizan para la detección y/o corrección de errores que puedan ocurrir durante una transmisión.

En el capítulo 5 se le brinda al alumno algunos conceptos básicos para comprender la teoría matemática, que sustenta el diseño de los circuitos que forman parte de una computadora.

En el capítulo 6 se explican métodos de análisis/diseño de los circuitos combinacionales básicos, las operaciones básicas sobre registros y las aplicaciones de estos dispositivos en relación con la ejecución de instrucciones. Se presenta una celda de memoria estática y se explica la representación y uso de arreglos programables para implementar funciones lógicas.

En el capítulo 7 se presenta una computadora digital con sus componentes genéricos: CPU, memoria interna, buses y reloj; se explica de manera detallada su funcionamiento a nivel lógico-digital como no sería posible en una computadora real, dada la extrema complejidad de cada uno de estos componentes. De ésta manera, surgen los conceptos fundamentales para considerar en el funcionamiento de cualquier computadora, como por

ejemplo los ciclos de captación y ejecución de instrucciones, incluyendo en el ciclo de máquina el concepto de interrupción. Todo esto permite, además, que el alumno comprenda la relación entre lo físico y lo lógico, la relación entre lenguajes de distinto nivel y adquiera el concepto de generación de señales de control y de sincronización. La computadora de estudio es una máquina Von Neumann y su inclusión como máquina elemental permite demostrar la importancia del estudio del Álgebra de Boole y de la Teoría de la Lógica Digital, presentadas en los capítulos anteriores.

En el capítulo 8 se pretende lograr el aprendizaje de las funciones internas y de entorno de los microprocesadores, relacionadas con la ejecución de programas. Se explica qué es un chip y cómo se relaciona la tecnología de semiconductores con los microprocesadores, con las memorias y con los microcontroladores. Se presentan las características para evaluar en microcomputadoras, como por ejemplo el número de registros internos, la capacidad de interrupción y la tecnología que sustenta la ejecución de su set de instrucciones. Se explican las posibles políticas para la implementación de ejecución en paralelo a nivel instrucción y demás soluciones tecnológicas que consiguen mejorar el rendimiento.

En el capítulo 9 se explica, desde el diseño más simple, un módulo de memoria semiconductora con componentes RAM hasta el estudio de los modelos de memoria, que incluyen a las memorias de almacenamiento masivo. El propósito es que el alumno interprete las ventajas de una organización de memoria jerarquizada, como estrategia para el desarrollo de máquinas más eficientes. Respecto a la gestión de memoria, se presentan los modelos de paginación, segmentación y segmentos paginados y se presentan en detalle las técnicas de memoria virtual y traducción de direcciones.

En el capítulo 10 se presenta el estudio de los distintos formatos de instrucción y de las diversas modalidades de direccionamiento de operandos, ya que, tanto uno como el otro, forman parte de la descripción de la arquitectura de una computadora. Se muestra la relación que existe en el análisis de un código de instrucción, por ejemplo, cómo cada uno de sus bits permiten establecer la operación que se va a ejecutar, los registros de CPU que están involucrados, la relación con las direcciones de memoria y los distintos métodos que permiten la obtención de los datos.

En el capítulo 11 se desarrolla una introducción, sin intención de profundizar, de los conceptos básicos sobre sistemas operativos y sus principales funciones en la administración de los recursos de una computadora. Se presentan, además, los restantes componentes del software de sistema.

En el capítulo 12 se presentan las funciones y principios de operación de los dispositivos que sustentan los soportes de almacenamiento, evaluándolos como dispositivos complementarios de la arquitectura. Se describen sus componentes físicos y especificaciones técnicas. También se presentan distintas tecnologías de memoria, que se utilizan para brindar una mayor portabilidad e incluso como extensión de la memoria principal.

En el capítulo 13 se presentan las nuevas tecnologías en materia de conectividad, el estudio de las funciones y de los principios de operación de los dispositivos de adaptación y de conexión, estableciéndose una jerarquía que va desde la comunicación más sencilla entre dos buses hasta la descripción de las características de los buses más complejos. También se detallan las diversas modalidades de transferencia de una operación de entrada/salida.

En el capítulo 14 se profundiza el detalle de las técnicas que sustentan el paralelismo a nivel instrucción, luego se presenta la clásica taxonomía de Flynn para desarrollar los distintos modelos de paralelismo a nivel arquitectura. Por último, se describen dos microprocesadores Itanium de Intel y AMD64, con la finalidad de ofrecer al alumno una descripción más amigable que la de un manual.

Para el profesor

El libro está orientado a alumnos que cursan estudios universitarios en carreras asociadas a la Ciencia de la Computación y a la Ingeniería de Sistemas. En las Licenciaturas y en la mayoría de las carreras de Ingeniería (sean éstas en Informática, en Sistemas o en Telecomunicaciones) se cursa en los primeros años de la carrera. Es para estos casos que he desarrollado los capítulos del 2 al 6, con la intención de brindar al alumno los conocimientos básicos necesarios para abordar la asignatura.

En algunas universidades la materia se encuentra en los años de especialización, es decir que el alumno cursa primero materias comunes a varias carreras de Ingeniería y luego las particulares de su carrera. En estos casos, ya habrán tenido asignaturas como Matemáticas Discretas y Técnicas Digitales. Si ésta es su situación, los capítulos 2 a 6 pueden ser considerados como un repaso, o bien puede abordar el capítulo 1 y continuar por el 7.

Se ha intentado secuenciar cada uno de los capítulos con el mismo orden en el que se imparten las clases en la mayoría de las planificaciones consultadas de distintas Universidades de América Latina (como la Universidad Nacional Autónoma de México –Facultad de Contaduría y Administración– y la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina).

Para facilitar el dictado de la materia, cada capítulo cuenta con sus correspondientes diapositivas en PowerPoint, de acceso exclusivo para docentes.

También puede descargar exámenes sobre la base de lo explicado en el libro.

Para el estudiante

Es un libro que responde a mi experiencia a través de todos estos años, sobre la base de las dificultades que surgen en cada tema.

El enfoque del libro es claramente didáctico, por lo que no encontrarán referencias a cuestiones como el funcionamiento de un dispositivo externo. Si estas cuestiones son de su interés, lo invito a visitar la Web del libro, que cuenta con numerosos vínculos a las páginas Web de los fabricantes de hardware.

Desde el punto de vista del nivel de profundidad y complejidad, la obra avanza en la medida que avanzan los capítulos; de esta forma acompaña el aprendizaje.

Los numerosos simuladores con que cuenta la obra le permitirán fijar aún mejor los conceptos aprendidos. También cuenta con exámenes *online* para autoevaluarse.

Para el profesional

Encontrará en este libro de texto un refresco de los conceptos clásicos que adquirió en sus años de estudiante y una actualización de los temas de mayor importancia que se conocen en el área.

Objetivos

- Que el docente cuente con herramientas didácticas para la enseñanza de la materia.
- Que el estudiante conozca o repase los temas necesarios para abordar la asignatura.
- Que el estudiante conceptualice los conocimientos necesarios para comprender la Arquitectura de Computadoras.

1

Evolución del procesamiento de datos

Contenido

1.1 Organización y arquitectura de una computadora.....	2
1.2 Estratificación del software.....	3
1.3 Evolución del procesamiento de datos	4
1.4 Clasificación de las computadoras.....	8
1.5 Generaciones de computadoras digitales.....	9
1.6 Procesamiento de datos y sistemas de información.....	13
1.7 Sistemas sincrónicos de propósito general.....	15
1.8 Arquitectura de computadoras: Los primeros conceptos.....	15
1.9 Arquitectura de una unidad central de proceso (CPU)	17
1.10 Lógica digital y componentes electrónicos	18
1.11 El Sistema Operativo. La Dinámica del Sistema.....	23
1.12 Resumen	23
1.13 Contenido de la página Web de apoyo.....	24

Objetivos

- Realizar una introducción a la arquitectura de computadoras.
- Diferenciar las distintas generaciones de computadoras digitales.
- Incorporar terminología que apunte al entendimiento del lenguaje técnico, propio del área de competencia.

1.1 Organización y arquitectura de una computadora

La primera pregunta que surge a un lector que recién comienza sus estudios en la ciencia informática es: ¿Qué es una computadora? Como primera respuesta, diremos que en este capítulo la mejor definición será aquella que reúna los aspectos comunes a todas las computadoras, desde una computadora personal hasta una supercomputadora, con prestaciones de baja, mediana o alta complejidad.

Una computadora es un **dispositivo electrónico**, diseñado para aceptar **datos de entrada** y realizar **operaciones** sobre ellos (organizadas en una secuencia lógica y predeterminada por un **algoritmo**), para elaborar **resultados** que se puedan obtener como **salidas**. Un algoritmo computacional se determina por una secuencia de operaciones finita que permite resolver un problema computacional. Se representa con instrucciones que la computadora puede interpretar y ejecutar. Al conjunto de instrucciones que representa un algoritmo se lo denomina programa; expresado de otra manera, un **programa** es la representación de un algoritmo en un **lenguaje** de programación.

Los componentes de una computadora son los dispositivos físicos que le permiten llevar a cabo su función, y que representaremos en el esquema de la figura 1.1.

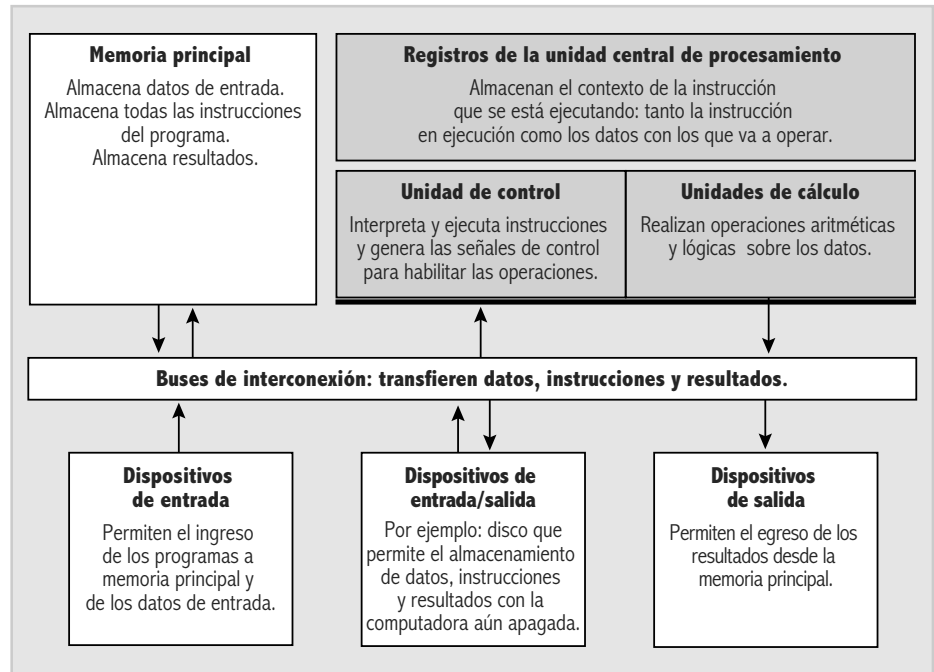


Fig. 1.1. Componentes de una computadora.

El esquema anterior muestra tres cuadros en gris que constituyen la unidad central de proceso (CPU o *Central Processing Unit*). La “relación” entre los distintos componentes y su diseño y tecnología, sea en un nivel de detalle como el presentado o en uno menos abstracto, se define como **organización de una computadora**. El **set de instrucciones** de una computadora permite representar los algoritmos que solucionan los problemas. Así que para definir la arquitectura de una computadora, a la descripción de los componentes le agrega-

Computadora: dispositivo electrónico, diseñado para aceptar datos de entrada y realizar operaciones sobre ellos (organizadas en una secuencia lógica y predeterminada por un algoritmo), para elaborar resultados que se puedan obtener como salidas.

La “relación” entre los distintos componentes y su diseño y tecnología, sea en un nivel de detalle como el presentado o en uno menos abstracto, se define como organización de una computadora.

mos la descripción de la manera en que nos comunicamos con ella. Debemos explicar qué puede hacer, es decir que es necesario conocer las **instrucciones** definidas para su CPU, los **tipos de datos** con los que puede operar, las modalidades de acceso a ellos y la forma en que se atienden eventos externos. Cuando nos referimos a la “arquitectura” podemos indicar que una unidad de cálculo permite “determinada” operación con enteros, haciendo abstracción de cómo está implementada en hardware, razón por la cual el manual de un procesador del mercado actual, como el Itanium®, nos indica que la multiplicación de enteros se lleva a cabo en la unidad de cálculo de coma flotante, pero no especifica cómo lo hace. El texto tomado del manual dice así:

“La multiplicación de enteros se ejecuta en la unidad de coma flotante utilizando instrucciones de tipo XMA (instrucciones de tres operandos). Los operandos y el resultado de estas instrucciones se almacenan en registros de coma flotante...”

Cuando un profesional del área de sistemas piensa en términos de arquitectura, tiene en mente las demandas de procesamiento de información que requiere su área de trabajo. Es una mirada desde la funcionalidad de un sistema: se pregunta si necesitaría una o varias computadoras personales, un servidor, una supercomputadora, qué tipo de sistema operativo, etcétera. Cuando un fabricante piensa en términos de arquitectura, tiene en mente las necesidades de procesamiento de un mercado determinado; no es lo mismo fabricar computadoras para el hogar que servidores de red. Los desafíos que se han de resolver en cuanto al diseño de una computadora tienen que ver con la funcionalidad, el alto rendimiento, el bajo costo y la inserción en el mercado.

En el concepto de arquitectura de computadoras se considera la descripción de las características visibles relativas a las prestaciones que una determinada configuración interna de computadoras puede brindar. Como ya indicamos, este concepto incluye los aspectos relacionados con el formato del conjunto de instrucciones que el procesador pueda ejecutar, la representación interna de los datos y el estudio de los módulos de hardware que sostienen la dinámica del conjunto, desde la perspectiva del sistema informático.

La organización de una computadora permite la identificación de los componentes desde el punto de vista de su estructura, la manera en que se relacionan entre sí y las cuestiones de índole tecnológico.

En este libro se tratan ambos conceptos en los distintos niveles desde los que se puede enfocar el estudio de una computadora como herramienta automática en el procesamiento de datos.

1.2 Estratificación del software

También se pueden establecer niveles funcionales respecto del software. Por un lado, la jerarquía más alta corresponde a los programas de uso particular de los usuarios, denominados **aplicaciones** (que se programan en lenguajes de alto nivel); en el extremo opuesto están las señales que genera la unidad de control para el gobierno de los distintos dispositivos físicos, por ejemplo, una orden de lectura a memoria. Podemos ver la relación entre las distintas jerarquías de software y el hardware en el esquema siguiente:



Interrupciones: son eventos externos producidos por dispositivos entrada/salida (E/S).



El concepto de arquitectura de computadoras incluye los aspectos relacionados con el formato del conjunto de instrucciones que el procesador pueda ejecutar, la representación interna de los datos y el estudio de los módulos de hardware que sostienen la dinámica del conjunto, desde la perspectiva del sistema informático.

Aplicaciones: reproductor de video, navegador de Internet, procesador de texto.
Software para producir aplicaciones: editores, compiladores.
Software de gestión de recursos: sistema operativo.
Arquitectura del set de instrucciones.
Lenguaje de señales que permiten la ejecución de las instrucciones .
Hardware.

Código de máquina: es el lenguaje que interpreta la CPU y pertenece al nivel de arquitectura del set de instrucciones.

Un usuario que sólo utiliza un software para enviar correo electrónico o *e-mails* se comunica con la computadora con la interfaz gráfica del sistema operativo y no requiere muchos conocimientos en ciencias de la computación. Un programador que desarrolla software de aplicación requiere conocimientos formales en arquitectura de computadoras, en sistemas operativos y, por supuesto, en diseño de algoritmos, lenguajes de programación y estructuras de datos. El programador desarrolla software que, por ejemplo, le sirva a una empresa para administrar su *stock*, su facturación, etcétera.

Un programador que desarrolla software de sistema debe tener conocimientos profundos en arquitectura de computadoras, en lenguajes de programación que le permitan comandar el hardware y en sistemas operativos que le sirvan, por ejemplo, para programar un software de "supervisión" para un dispositivo físico.

Todos los programas se compilan o reciben algún proceso de traducción a **código de máquina**, que es el lenguaje que interpreta la CPU y pertenece al nivel de arquitectura del set de instrucciones. Por efecto de esta "interpretación", la CPU genera señales sincronizadas en el tiempo que controlan el hardware implicado en la operación, por ejemplo, "orden de suma a una unidad de cálculo". Por último, el que realiza la operación es el hardware.

La **arquitectura del set de instrucciones** (ISA o *Instruction Set Architecture*) determina el formato de las instrucciones, los tipos de datos que puede operar, las distintas formas de obtener datos de memoria, que se denominan "modo de direccionamiento", y la forma en que se atienden eventos externos. En los capítulos de este libro se desarrolla cada uno de estos módulos de aprendizaje.

Cada instrucción implica "algo que hacer", un "verbo", que en lenguaje técnico se denomina **código de operación** (grupo de bits que interpreta un diseño específico de CPU). La forma en que se implementan los códigos de operación se denomina nivel de microarquitectura. La **microarquitectura** determina la forma en que se ejecuta la instrucción. Dos CPU pueden compartir el mismo set de instrucciones pero estar diseñadas con distintas microarquitecturas, como es el caso de las CPU AMD, que ejecutan software de la industria *80x86* de Intel, lo que les permite "ejecutar las mismas instrucciones" y mantener así la compatibilidad del software.

1.3 Evolución del procesamiento de datos

1.3.1 Los comienzos de la computación

Desde épocas remotas (alrededor de 3.000 años a.C.) el hombre trató de liberarse de hacer cálculos en forma manual. Es probable que la primera máquina típicamente digital que utilizó

Es probable que la primera máquina típicamente digital que el hombre utilizó para resolver problemas aritméticos haya sido el ábaco.

para resolver problemas aritméticos haya sido el **ábaco**. Ya en la Era Greco-romana se usaron varias versiones de este dispositivo, que también se utilizó en Egipto y en China. No obstante, según las teorías de físicos como Galileo, Descartes y Newton, estos instrumentos de cálculo no se desarrollaron en la Europa Occidental hasta el siglo XVII.

En la primera mitad del siglo XVII **John Napier** introdujo el concepto de logaritmo, con el que la tarea de multiplicar se simplificó. A partir de ese momento, se comenzaron a construir las máquinas de cálculo llamadas analógicas o máquinas de medida. Es factible que Napier sólo haya descubierto un dispositivo físico para hacer más rápida la multiplicación. Estas máquinas fueron de uso habitual en el siglo XVII y todavía se las puede ver en varios museos.

1.3.2 La primera máquina y su evolución

En 1642 **Blaise Pascal** construye, en Francia, una máquina para su padre –empleado contable– con la que tuvo gran éxito; esta máquina fue considerada la primera calculadora digital, llamada así porque acumulaba las operaciones aritméticas –suma y sustracción– en un acumulador o contador de enteros. Su mecanismo se basaba en ruedas dentadas que tenían 10 posiciones (de 0 a 9); cada vez que una rueda pasaba de 9 a 0, la rueda inmediatamente a la izquierda avanzaba una posición. En el presente las máquinas de oficina y las computadoras utilizan el mismo principio, sustituyendo el mecanismo de ruedas dentadas por un circuito electrónico.

En 1671 **Gottfried Wilhelm Von Leibniz** inventó una máquina que permite automatizar la multiplicación por sumas sucesivas. El mecanismo que utilizaba era una combinación de engranajes que permitía la multiplicación y la división de números en el sistema binario.

Charles Babbage empezó a construir la primera computadora digital en 1823 con la ayuda del gobierno británico. Incorporó una rutina de operaciones en tarjetas perforadas –en términos modernos, un programa perforado– que representó un gran paso para su próxima máquina.

En 1833 concibió la idea de una calculadora digital universal, a la que llamó máquina analítica. Esta máquina no se pudo construir, por falta de tecnología apropiada, hasta un siglo después.

En el siglo XIX se hicieron grandes avances en física matemática y se lograron mejorar los instrumentos de cálculo.

Para evitar los problemas de Babbage, se desarrolló una máquina nueva, que no era digital sino analógica, y que se llamó **máquina de medidas**, porque los resultados se obtenían midiendo la salida de los dispositivos. Ésta también se denominó máquina continua, porque la información que se obtenía a la salida era una representación en una magnitud continua, análoga a la real. Estos dispositivos podían ser rápidos aunque no muy precisos, debido a que dependían de analogías y medidas físicas.

En el siglo XIX **George Boole** desarrolló un Álgebra que no utiliza números, sino que establece la relación entre conceptos lógicos. Se hizo un paralelismo entre las leyes del pensamiento y las operaciones algebraicas. Esto permitió la representación de conceptos lógicos en términos algebraicos y se denominó **Lógica booleana**. El **Álgebra de Boole** es un ente matemático que fundamenta los principios de la teoría de circuitos.

1.3.3 La máquina de tarjetas perforadas

Mientras los trabajos sobre máquinas analógicas seguían desarrollándose, hubo una revolución en el campo digital cuando **Herman Hollerith** (de la oficina de censos de los EE.UU.)



Ábaco: objeto que sirve para facilitar cálculos sencillos (sumas, restas, multiplicaciones) y operaciones aritméticas. Se trata de cierto número de cuentas engarzadas con varillas, cada una de las cuales indica una cifra del número que representa.



Napier (1550-1617). Matemático escocés, reconocido por haber descubierto los logaritmos o “números artificiales”.



Pascal (1623-1662). Matemático, filósofo y teólogo francés, considerado el “padre de las computadoras” junto con Babbage.



Von Leibniz (1646-1716). Filósofo, matemático, jurista y político alemán. Descubrió el cálculo infinitesimal, independientemente de Newton, e inventó el sistema de numeración binario en que se basan casi todas las arquitecturas de computación actuales.



Un programa es la representación de un algoritmo en un lenguaje de programación.



Babbage (1791-1871). Matemático británico y científico de la computación, considerado “el padre de las computadoras” junto con Pascal.



Hollerith (1860-1929). Estadístico estadounidense que inventó la máquina tabuladora. Es considerado el primero en lograr un tratamiento automático de la información.

inventó la técnica para procesar gran cantidad de datos por medio de tarjetas perforadas, para luego clasificar y analizar los datos perforados en ellas.

Esta técnica se aplicó en los censos de 1890 en los EE.UU. y de 1911 en Gran Bretaña.

Las ideas de Hollerith fueron tomadas y perfeccionadas por la empresa IBM (International Business Machines). IBM desarrolló un dispositivo básico conocido como tarjeta perforada de 80 columnas. Cada tarjeta era leída por una lectora que permitía detectar las perforaciones en el soporte mediante conmutadores eléctricos. Cuando estos contactos atravesaban las celdillas perforadas, la unidad interpretaba el dato según fuera la combinación de perforaciones en cada columna.

Desde alrededor de 1930 hasta la década de 1970 la tarjeta perforada desempeñó un papel importante en el procesamiento de datos y reemplazó en gran medida al procesamiento manual. El medio básico para el procesamiento era la tarjeta perforada que contenía 80 columnas por 12 filas.

La combinación de zona y dígito permitía obtener una configuración distinta para cada letra, número o carácter especial. En 1969 IBM empezó a utilizar una tarjeta de 96 columnas para el Sistema/3 (8,25 x 6,68 cm) que se perforaba con agujeros circulares.

Los periféricos que permitieron su utilización fueron:

- La lectora de tarjetas.
- La perforadora de tarjetas.
- La lectoperforadora de tarjetas.

En el ejemplo siguiente se puede ver la utilidad de la tarjeta perforada como soporte para instrucciones y datos. En la figura 1.2 se representa el bloque procesador y la memoria que reciben las instrucciones del programa y los datos perforados en lotes de tarjetas. O sea que el sistema operativo organizaba el procesamiento comenzando con una orden de lectura a la lectora de tarjetas. En una tarea se separaba el lote de instrucciones del lote de datos con tarjetas de control que marcaban el comienzo y el fin de las tarjetas de instrucciones, así como el comienzo y el fin de las tarjetas de datos; cuando se finalizaba la lectura, las instrucciones y los datos quedaban almacenados en la memoria y recién entonces el sistema operativo ordenaba la ejecución. Por último, los resultados obtenidos se imprimían en papel.

Las instrucciones de un programa se ejecutan unas tras otras, siguen una lógica secuencial, salvo que haya una instrucción de salto.

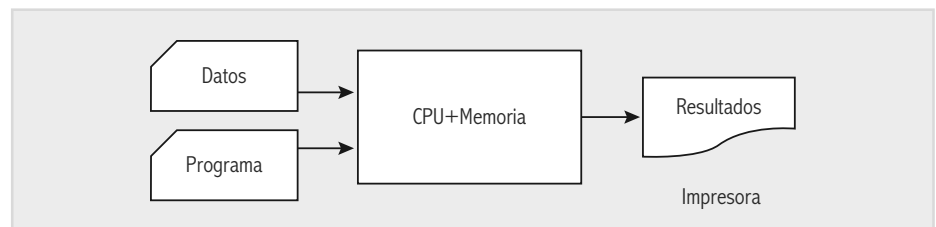


Fig. 1.2. Lectora de tarjetas. Cada instrucción como mínimo en una tarjeta.

La cinta de papel, también un medio primitivo de almacenamiento (al igual que la tarjeta perforada), quedó en desuso. Los datos se perforaban en ella en la forma de agujeros circulares pequeños. Las cintas se utilizaron en mayor medida en máquinas de sumar, máquinas de contabilidad y cajas registradoras.

1.3.4 La calculadora secuencial automática (IBM)

En 1939 comenzaron los trabajos en gran escala para lograr automatizar y poner en funcionamiento la máquina diferencial de Babbage, con el propósito de tabular polinomios.

La computadora secuencial automática de IBM fue puesta en operación en 1944 en la **Universidad de Harvard**, a cargo del físico **Howard Aiken** (cuyo trabajo fue subvencionado por IBM y la Universidad). Esta máquina constaba de partes electromecánicas provistas por IBM y estaba controlada por una cinta de papel perforada (similar a la tarjeta perforada).

Después de ésta, se diseñaron otras máquinas electromecánicas. Una fue la que Aiken llamó MARK II, utilizada por la Marina de los EE.UU.

Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrolló la computadora ENIAC o *Electronic Numerical Integrator And Calculator*, en la cual el cambio de sus programas se hacía mediante el recableado de unas borneras, operadas por técnicas.

1.3.5 El programa almacenado

La ejecución de una instrucción de ruptura de secuencia permite que, en determinado lugar del programa, se salte a una instrucción que no es la siguiente. En su diseño original, ENIAC era capaz de almacenar distintos programas. Para pasar de uno a otro, los ingenieros tenían que modificar parte de los circuitos de la máquina, con el fin de que ésta efectuara las operaciones requeridas para la solución de cada problema específico.

En 1945 John von Neumann logró una **máquina de programa almacenado** a la que se denominó **computadora**. Esta máquina no fue diseñada para una aplicación concreta, sino que se trató de una **máquina de propósito general**, capaz de almacenar instrucciones y datos en una memoria. Esto permite sustituir el conexionado fijo entre los componentes de la máquina por un programa de instrucciones intercambiable.

La máquina de von Neumann se fundamenta en tres principios que en el presente todavía se aplican:

1. Máquina electrónica digital, que trabaja con información codificada en binario (digital binario = 0, 1 = dos estados).
2. Programa almacenado en memoria.
3. Posibilidad de provocar una ruptura de secuencia de instrucciones en un programa.

La figura 1.3 responde al bosquejo de una computadora von Neumann, que, como se puede apreciar, no se diferencia en nada respecto del presentado en la figura 1.1. Está formada por los módulos CPU, memoria y unidades de E/S. La CPU cuenta con una unidad que procesa datos denominada unidad aritmético-lógica (ALU o *Arithmetic Logic Unit*) y otra llamada unidad de control y secuenciamiento (CU o *Control Unit*). Esta unidad emite órdenes para llevar a cabo en forma secuencial y sincronizada las operaciones elementales que permiten la ejecución de instrucciones. Como vemos en la figura 1.3, las órdenes a los módulos son generadas desde la CU. Podemos afirmar que una posible orden a la memoria es una orden de lectura y una orden a la ALU puede ser una orden de suma. La CU es también un canalizador de datos, ya que su función principal es gestionar la transferencia de información almacenada en módulos diferentes. Por esta razón, los módulos están relacionados entre sí por colectores de datos e instrucciones denominados también **buses**. Sobre estos colectores se puede crear gran cantidad de rutas imaginarias. Si se supone que una ruta es un camino posible entre un origen y un destino, cuando sea necesaria una transferencia, la CU la habilitará desde un sólo origen y hacia un sólo destino.



Aiken (1900-1973). Ingeniero estadounidense, pionero en computación al ser el ingeniero principal tras la creación de un dispositivo electromecánico de computación.



La ejecución de una instrucción de ruptura de secuencia permite que en determinado lugar del programa se salte a una instrucción que no es la siguiente.

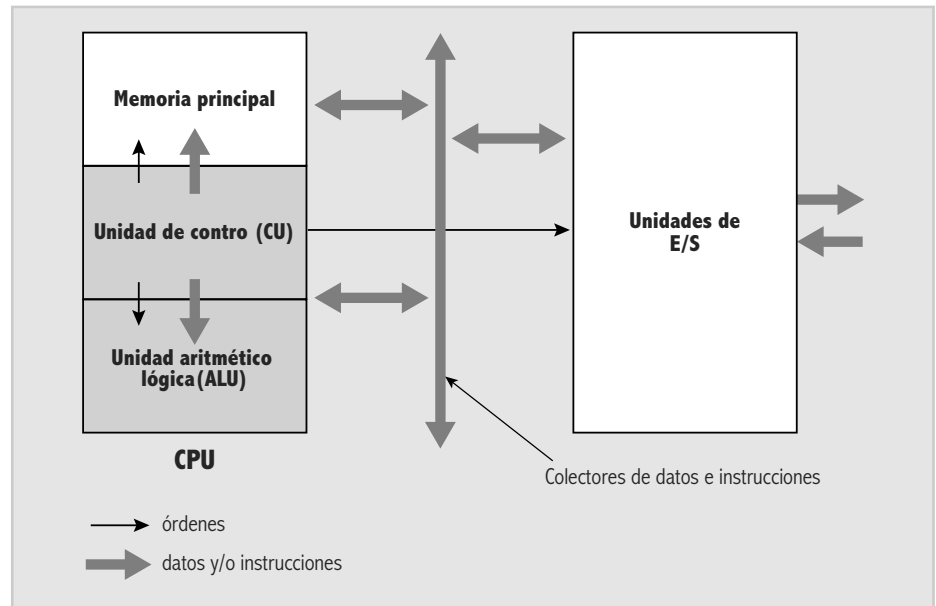


Fig. 1.3. Esquema básico de una computadora Von Neumann.

1.4 Clasificación de las computadoras

1.4.1 Analógicas

Las primeras computadoras analógicas se implementaron para estudiar un modelo semejante (análogo) a una ecuación; el resultado se elaboró tras la medición del valor que asumían las salidas del modelo. Sin embargo, el sistema adolecía de dos desventajas importantes: por un lado, la falta de exactitud en la salida, a causa del carácter continuo de esta magnitud, y por el otro, el modelo construido, que representaba a una única aplicación y no servía para otra.

En este momento, por ejemplo, se utilizan sistemas analógicos modernos para procesos que involucran la toma de medidas en industrias (refinerías de petróleo), simuladores de vuelo, simuladores de redes eléctricas y otras aplicaciones en las que sea importante representar la variación en el tiempo de magnitudes continuas.

La ventaja más destacada que ofrece esta computadora es su capacidad de procesar datos no discretos (temperaturas, presión, altura), además de permitir la simulación de modelos en la etapa de desarrollo de un proyecto; así, en un modelo más pequeño que el real las variables se representan con magnitudes proporcionales, lo que genera la consecuente disminución de los costos de desarrollo.

1.4.2 Digitales

Estas computadoras se denominan digitales porque procesan "dígitos" binarios, "ceros" y "unos" que representan datos. Un dato es un binario que corresponde a un código preestablecido. Entre las ventajas que presentan podemos destacar que efectúan cálculos precisos y que el modelo se arma sobre un programa intercambiable, lo que posibilita no tener que cambiar partes físicas para modificarlo, sino sólo ingresar un programa nuevo.

Para procesar variables continuas y estudiar el modelo a fondo en este tipo de computadoras, es necesario ingresar datos con diferencias infinitesimales, motivo por el cual su utilización en estos casos resulta inadecuada.

1.4.3 Híbridas

Una variable analógica puede asumir infinitos valores dentro de un rango y se utiliza para representar cantidades “naturales”, como la temperatura, la presión o la distancia. Sin embargo, a efectos de una medición que pueda ser interpretada por los seres humanos, se las convierte a valores discretos, por ejemplo, se mide la temperatura en grados o la distancia en metros o pulgadas. Esto elimina el carácter “infinito” de los posibles valores que la variable pueda asumir.

Los sistemas híbridos son una combinación de analógicos y digitales. Mientras que la porción analógica se encarga de tomar los datos continuos (temperatura, presión, etc.), la parte digital efectúa los cálculos. Estas computadoras se construyen para propósitos especiales; un ejemplo actual es el GPS de nuestro auto.

1.5 Generaciones de computadoras digitales

Según la tecnología con la que operan, las técnicas de organización y su explotación se establece la siguiente clasificación de las computadoras digitales:

1.5.1 Computadoras de 1ª generación

Estas computadoras estaban constituidas por válvulas de vacío, que disipaban gran cantidad de calor y ocupaban una superficie muy amplia. Las tareas se ejecutaban en forma secuencial, lo que implicaba que:

1. El programa, almacenado en tarjetas o cintas perforadas, era cargado en memoria principal por un programa llamado cargador, perteneciente al sistema operativo.
2. Se ejecutaba el programa instrucción por instrucción.
3. Se imprimían los resultados.

Las operaciones de entrada, procesamiento y salida de los datos se encontraban encadenadas en el tiempo, por lo que la duración del proceso era igual a la suma de todas las operaciones.

Las computadoras de 1ª generación se utilizaron durante el período comprendido entre 1954 y 1959, mientras que las fabricadas antes de 1954 se tomaron como máquinas experimentales y, por ello, no se incluyen dentro de esta generación.

1.5.2 Computadoras de 2ª generación

Las computadoras de 2ª generación estaban constituidas por transistores y utilizaron circuitos impresos, lo que permitió reducir el tamaño con respecto a las anteriores. Posibilitaron la simultaneidad entre un cálculo y una operación de E/S. Este concepto en la práctica dio pocos resultados, debido, en gran medida, a la desproporción entre la velocidad de cálculo interno y las velocidades de E/S, que hacían que la CPU no se utilizara más que en un pequeño porcentaje de tiempo. El paliativo para este problema fue que las operaciones de E/S se realizaran utilizando como soporte de almacenamiento unidades de cinta magnética, mucho más rápidas que las lectoras de tarjetas y las impresoras. Para lograrlo, se copiaba la información contenida en el soporte tarjeta a soporte cinta magnética y de ésta a impresora con un proce-