



GUÍA DE ESTUDIO PARA EL CURSO

ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS

CÓDIGO: 823

Realizado por:

Frank A. Mendoza Hernández

2020

Producción académica y asesoría metodológica:

Revisión de contenido:

Revisión filológica:

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	6
DESCRIPCIÓN DEL CURSO.....	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	7
Requisitos / correquisitos.....	7
Materiales de apoyo	7
Materiales de referencia:	8
Modalidad de estudio.....	8
Desglose de temas	9
Guía de lecturas	10
Aspectos relevantes	10
Ejercicios sugeridos.....	10
Solución de ejercicios	10
TEMA 1	11
SOFTWARE DE SIMULACIÓN	11
Propósito del tema	11
Objetivos de aprendizaje.....	11
Guía de lectura	11
Aspectos relevantes.....	11
Ejercicios sugeridos	12
Solución de ejercicios sugeridos	12
TEMA 2.....	14
INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA DEL COMPUTADOR.....	14
Objetivos de aprendizaje.....	14
Para el Capítulo 1: Conceptos Digitales	14
Para el Capítulo 3: Puertas Lógicas	14
Para el Capítulo 4: Álgebra de Boole y simplificación lógica	15
Guía de lecturas.....	15

Conceptos digitales.....	15
Aspectos relevantes.....	16
Conceptos digitales:.....	16
Puertas lógicas:	17
Álgebra de Boole y simplificación lógica:.....	17
Postulados y teoremas del Álgebra de Boole	17
Ejercicios sugeridos	18
Solución de ejercicios sugeridos	18
Capítulo 1	18
Capítulo 3	18
Capítulo 4	19
TEMA 3.....	20
LÓGICA DIGITAL.....	20
Propósito del tema	20
Objetivos de aprendizaje.....	20
Para el Capítulo 5: Análisis de la lógica combinacional.....	20
Para el Capítulo 6: Funciones de la lógica combinacional.....	21
Guía de lecturas.....	21
Aspectos relevantes.....	22
Análisis de la lógica combinacional:	22
Funciones de la lógica combinacional:	22
Ejercicios sugeridos	23
Solución de ejercicios	23
Capítulo 5	23
Capítulo 6	23
TEMA 4.....	25
REGISTROS Y ELEMENTOS DE MEMORIA	25
Propósito del tema	25
Objetivos de aprendizaje.....	26
Para el Capítulo 7: Latches, flip-flops y temporizadores.....	26
Para el Capítulo 8: Registros de desplazamiento.....	26
Para el Capítulo 9: Contadores	26
Guía de lecturas.....	27
Aspectos relevantes.....	28

Latches, flip-flops y temporizadores:	28
Registros de desplazamiento:	28
Contadores:	29
Ejercicios sugeridos	29
Solución de ejercicios	29
Capítulo 7	29
Capítulo 8	29
Capítulo 9	30
TEMA 5.....	31
COMPUTADORAS Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES	31
Propósito del tema	31
Para el Capítulo 11: Almacenamiento de Datos	31
Objetivos de aprendizaje.....	31
Introducción al procesamiento digital de la señal	31
Guía de lecturas.....	32
Aspectos relevantes.....	32
Introducción al procesamiento digital de la señal:	33
Ejercicios sugeridos	34
Solución de ejercicios	34
Capítulo 11	34
Capítulo 12	34
BIBLIOGRAFÍA	35
MATERIALES DE REFERENCIA.....	35

INTRODUCCIÓN

Con el fin de orientar al estudiante de la carrera Ingeniería en Informática de la Universidad Estatal a Distancia, en relación con su formación académica, presentamos a continuación una guía de estudio para el curso **Organización de computadoras**, que se encuentra en el nivel de diplomado.

Se desarrollan cinco temas, en los cuales se exponen los conceptos básicos en torno a los sistemas digitales. El desarrollo de los temas se complementa con el uso de un *software* para simulación, gratuito, que nos permite dibujar y activar las diferentes combinaciones de circuitos digitales derivados de las funciones de Boole que explican la operación de la lógica digital (indicaciones se verán más adelante).

Se describen las técnicas y teoremas del Álgebra de Boole y la simplificación lógica de funciones digitales, para derivar en el análisis de la lógica combinacional resultante del planteamiento de los teoremas matemáticos estudiados.

Como complemento a la enseñanza del estudiante, se describe el comportamiento de los *latches*, *flip-flops* y temporizadores digitales, elementos básicos para la operación de los computadores digitales.

Se explicará el diseño y operación de los contadores digitales, elementos encargados de establecer la secuencia de las instrucciones propias de un autómata computacional, para ser posteriormente enlazados con los sistemas de almacenamiento y memorias que sirven de repositorio para los datos contenidos en los computadores así como las instrucciones de operación que permiten la ejecución de operaciones simples y complejas que permitirán la ejecución de las acciones del computador.

Una vez establecidos los conceptos de composición de un computador digital, se conceptualiza la relación directa de los componentes estudiados en la estructura de un computador básico, a fin de que el estudiante pueda relacionar la composición lógica y funcional de una máquina como el computador base de muchas evoluciones tecnológicas actuales.

Es importante saber que esta guía no sustituye al libro de texto, es un complemento que ayuda a comprender aquellos conceptos que puedan ser relevantes para el entendimiento de la materia en estudio.

DESCRIPCIÓN DEL CURSO

Objetivo general

Al finalizar el estudio de esta guía, el estudiante estará en capacidad de analizar los elementos básicos de la arquitectura interna de las computadoras y de su lenguaje de máquina, así como la construcción y funcionamiento de los circuitos digitales.

Objetivos específicos

Al finalizar este curso, usted deberá estar en capacidad de:

- Analizar los sistemas binarios adecuados para representar información en componentes digitales y establecer representaciones de la información decimal y alfanumérica a través del sistema de códigos binarios.
- Analizar el comportamiento de las puertas lógicas utilizadas en el diseño de los circuitos electrónicos de computadores y aplicar el método del mapa de Karnaugh orientado a la simplificación de funciones de Boole, deduciendo, en función de éstos, las tablas de verdad respectivas.
- Analizar los circuitos lógicos combinacionales y comprender su implementación.
- Analizar las funciones de la lógica combinacional y comprender su implementación.
- Analizar los *latches* y *flip-flop*, y aplicar su implementación.
- Analizar el funcionamiento de los diferentes tipos de contadores y sus aplicaciones.
- Analizar los diferentes tipos de registros de desplazamiento y aplicarlos en un circuito digital.
- Identificar y aplicar los diferentes tipos de memoria que existen y el funcionamiento de su almacenamiento.
- Analizar los elementos de *hardware* que contiene una computadora.
- Identificar los fundamentos del procesamiento digital de la señal y aplicar los diferentes métodos de conversión analógica-digital.

Requisitos / correquisitos

Este curso es parte del plan de Diplomado de la carrera de Ingeniería en Informática. Se recomienda a la población estudiantil haber aprobado, como mínimo, los cursos de: Lógica para Computación (3071), Introducción a la Programación (831), Programación Intermedia (824), Matemáticas para Computación I (3068) y Matemática para Computación II (3069).

Materiales de apoyo

La siguiente lista de materiales didácticos se le brinda a los estudiantes el día que matricula el curso. Su objetivo es proporcionar al estudiante la ayuda necesaria para comprender los temas de estudio.

Los materiales educativos establecidos para el curso son los siguientes:

- Libro de texto: Floyd, Thomas L. (2016). *Fundamentos de Sistemas Digitales*. Pearson Educación SA, Madrid, 2016, ISBN 10: 84-8322-085-7; ISBN 13: 978-84-8322-085-6.
- Esta Guía de Estudio que usted está leyendo.
- Material Complementario para el curso **Organización de Computadoras**.

Materiales de referencia:

- Marcovitz, Allan B. *Diseño Digital*, Segunda Edición, Mc Graw Hill, México 2005, ISBN 007-286516-4.
- Wakerly, John F. *Diseño digital: principios y prácticas*. Tercera Edición, Pearson Educación, México 2001. ISBN 970-26-0720-5.
- Stallings, William. *Organización y arquitectura de computadores*. Quinta Edición, Pearson Educación, España, ISBN 84-205-2993-1.
- Murdocca, Miles J. Heuring Vincent P. *Principios de arquitectura de computadoras*. Primera Edición, Buenos Aires, Pearson Educación 2002, ISBN 987-9460-69-3.
- Lloris Ruis, Antonio; Prieto Espinoza, Alberto; Parrilla Roure, Luis. *Sistemas digitales*. Madrid, España. 2000. ISBN 84-481-2146-5.
- Tanenbaum, Andrew S. *Organización de computadoras, un enfoque estructurado*. Cuarta Edición, México 2002. ISBN 0-13-095990-1.
- Morris, Mano M. *Diseño digital*. Tercera edición. México 2003. ISBN 970-260438-9.
- Hamacher, Carl; Vranesic, Zvonko; Zaky Safwat; *Organización de computadores*. Quinta Edición, España; ISBN 007-232086-9.
- Mano, Morris. *Lógica digital y diseño de computadoras*. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México, 1982.

Modalidad de estudio

El estudiante debe seguir las sugerencias de esta Guía, la cual está diseñada para orientarlo a lo largo del cuatrimestre, con indicación de los temas que abarca el curso.

Con el fin de facilitarle el estudio del curso, al final de cada tema se le presenta una serie de ejercicios con sus respectivas soluciones. Estos ejercicios le permitirán autoevaluar su conocimiento.

Además, los estudiantes dispondrán de cuatro tutorías presenciales durante el cuatrimestre, en las cuales el tutor destinará tiempo para explicar la teoría, para aclarar dudas y resolver ejercicios.

Desglose de temas

El curso **Organización de Computadoras** está basado en 10 capítulos principales:

- 1-Conceptos digitales
- 3-Puertas Lógicas
- 4-Algebra de Boole y simplificación lógica
- 5-Análisis de la lógica combinacional
- 6-Funciones de la lógica combinacional
- 7-Latches, Flip-Flops y Temporizadores
- 8-Registros de desplazamiento
- 9-Contadores
- 11-Almacenamiento de datos
- 12-Procesamiento y conversión de señales

Para un adecuado aprovechamiento del curso, se escogió utilizar como unidad didáctica el libro de texto autodidáctico de Floyd, que motiva al estudiante a continuar con el aprendizaje de los temas señalados.

A continuación, se le presenta el desglose de los temas con sus capítulos que abarcará este curso, así como su ubicación dentro del **libro de texto (LT)**.

Tema	Capítulo	Ubicación
Tema 1. Software de simulación	• <i>Digital Works</i>	http://www.uned.ac.cr/digitalworks.html
Tema 2: Introducción a la arquitectura del computador.	<ul style="list-style-type: none"> • Conceptos digitales. • Puertas lógicas • Álgebra de Boole y simplificación lógica. 	Capítulo 1 (LT) Capítulo 3 (LT) Capítulo 4 (LT)
Tema 3: Lógica digital	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la lógica combinacional • Funciones de la lógica combinacional 	Capítulo 5 (LT) Capítulo 6 (LT)

Tema 4: Registros y elementos de memoria	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Latches, flip-flops</i> y temporizadores • Registros de desplazamiento. • Contadores 	<p>Capítulo 7 (LT)</p> <p>Capítulo 8 (LT)</p> <p>Capítulo 9 (LT)</p>
Tema 5: Procesamiento de señales.	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de datos • Procesamiento y conversión de señales 	<p>Capítulo 11 (LT)</p> <p>Capítulo 12 (LT)</p>

Guía de lecturas

Para cada tema de esta guía de estudio, el alumno encontrará una sección denominada "Guía de lectura", la cual le indicará en detalle los capítulos y las páginas del libro de texto que debe profundizar para abarcar el contenido del curso.

Aspectos relevantes

Este es un apartado que posee cada uno de los capítulos de esta guía, en el cual se resumen los aspectos más importantes dentro del tema; esto con el fin de ayudarle al estudiante a señalar dentro de la materia, aquellos puntos que le pueden fortalecer su entendimiento.

Ejercicios sugeridos

Con el propósito de que realice una autoevaluación de su comprensión del tema en estudio, se incluye una sección de "ejercicios propuestos". Se recomienda que el estudiante realice TODOS los ejercicios antes de la tutoría presencial.

Solución de ejercicios

Con el fin de que el estudiante realice la verificación de su conocimiento, se ofrecen al estudiante sugerencias para la solución de los ejercicios propuestos.

TEMA 1

SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Propósito del tema

Con el estudio de este tema se brinda al estudiante una perspectiva más amplia acerca de la operación de los circuitos digitales, elementos básicos para la conformación de los recursos internos de un computador clásico. Se presenta la oportunidad de modelar las ecuaciones algebraicas derivadas de funciones booleanas y convertidas en circuitos digitales, probando con ello la eficacia de los modelos matemáticos estudiados.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar el estudio de este tema, el estudiante deberá estar en capacidad de:

- Desarrollar destrezas orientadas al uso de un *software* para simulación de circuitos digitales.
- Investigar a través de un modelo computarizado el comportamiento de los circuitos digitales.
- Aplicar una herramienta que le permita validar los planteamientos teóricos derivados del Álgebra Booleana.

Guía de lectura

El estudiante deberá bajar el *software* de simulación correspondiente, el cual no tiene costo económico, el cual cuenta con los permisos correspondientes para su uso didáctico.

El software, llamado digital Works, se dispone en la plataforma, en el aparte **Documentación General de la Asignatura**. En la primera tutoría el profesor tutor brindará una demostración del uso de la herramienta.

Aspectos relevantes

Es importante que el estudiante explore los diferentes menús dispuestos en el *software* de simulación, para que se familiarice con su utilización. En caso de que encuentre alguna dificultad, deberá contactar a su profesor tutor a fin de que le amplíe lo necesario.

Ejercicios sugeridos

Se propone el siguiente ejercicio para practicar la utilización del *software* de simulación:

Realice una investigación respecto de la operación del programa de simulación *Digital Works* versión 3.04. Destaque en su investigación la funcionalidad disponible en los menús y submenús de: FILE, EDIT, CIRCUIT, VIEW, TOOLS. Apoye la investigación utilizando el programa comentado.




Para simular la operación de las compuertas básicas AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR, debe utilizar, necesariamente, los generadores de secuencia, relojes, entradas interactivas y otros dispuestos en el programa para facilitar la simulación.

Solución de ejercicios sugeridos


Remita y comente los resultados de su investigación con el profesor tutor asignado, para que le realimente en torno a los conceptos investigados.

A continuación, encontrará las respuestas correspondientes a sus simulaciones, las cuales puede usar de referencia para los resultados obtenidos.

Resultados de la simulación:

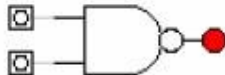
OR Gate	NOR Gate	XOR (Exclusive OR)																																													
																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	X																																													
0	0	0																																													
0	1	1																																													
1	0	1																																													
1	1	1																																													
A	B	X																																													
0	0	1																																													
0	1	0																																													
1	0	0																																													
1	1	0																																													
A	B	X																																													
0	0	0																																													
0	1	1																																													
1	0	1																																													
1	1	0																																													

AND Gate



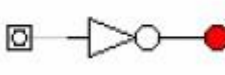
A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

NAND Gate



A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NOT Gate (Inverter)



A	X
0	1
1	0

TEMA 2

INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA DEL COMPUTADOR

Propósito del tema

Realizar un repaso de los conceptos que están relacionados con los sistemas digitales, destacando para ello las consideraciones de diseño orientadas a desarrollar operaciones matemáticas a través de circuitos digitales, teniendo por fundamento los sistemas de numeración, operación y códigos más conocidos, los cuales forman parte integral para la formulación de soluciones digitales.

En el capítulo se explorará el comportamiento de las compuertas lógicas básicas de las cuales se derivan componentes más completos, para luego conformar las estructuras electrónicas que comprenden los elementos de un computador básico. Para ello, se centrará el aprendizaje en los fundamentos del Álgebra Booleana, base matemática que permite la formulación de sistemas digitales modelados matemáticamente, y que pueden ser explicados, y predichos sus comportamientos, mediante ecuaciones matemáticas basadas en lógica booleana.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar el estudio de este tema, el estudiante estará en capacidad de:

Para el Capítulo 1: Conceptos Digitales

- Explicar las diferencias básicas entre las magnitudes digitales y analógicas.
- Mostrar cómo se usan los niveles de tensión para representar magnitudes digitales.
- Describir los diferentes parámetros de los trenes de impulsos, tales como el tiempo de subida, el tiempo de bajada, el ancho de impulso, la frecuencia, el periodo y el ciclo de trabajo.
- Explicar las operaciones lógicas básicas NOT, AND y OR.
- Describir las funciones lógicas del comparador, el sumador, el convertidor de código, el codificador, decodificador, multiplexor, demultiplexor, contador y registro.
- Explicar qué es la lógica programable, especificando los distintos tipos y describiendo cómo se programa los PLD.

Para el Capítulo 3: Puertas Lógicas

- Describir el funcionamiento de las compuertas NOT, AND, OR, NAND, NOR, XOR, XNOR.

- Expresar las operaciones de las puertas NOT, AND, OR, NAND y OR mediante el Álgebra de Boole.
- Reconocer y utilizar los símbolos distintivos y los símbolos rectangulares de las compuertas lógicas según el estándar ANSI/IEEE 91-1984.
- Elaborar los diagramas de tiempos que muestran las relaciones de tiempo de las entradas y las salidas de las diferentes puertas lógicas.

Para el Capítulo 4: Álgebra de Boole y simplificación lógica

- Aplicar las leyes y reglas básicas del Álgebra de Boole.
- Aplicar los teoremas de Morgan a las expresiones booleanas.
- Describir redes de puertas mediante expresiones booleanas.
- Evaluar las expresiones booleanas.
- Simplificar expresiones mediante las leyes y reglas del Álgebra Booleana.
- Convertir cualquier expresión booleana en un producto de sumas.
- Utilizar el mapa de Karnaugh para simplificar tablas de verdad.
- Utilizar condiciones “indiferentes o no importa” para simplificar funciones lógicas.

Guía de lecturas

Para lograr los objetivos anteriores, se le sugiere seguir la siguiente guía:

Materia	Páginas	Ubicación
1. Conceptos digitales Introducción 1.1. Magnitudes analógicas y digitales 1.2. Dígitos binarios, niveles lógicos y formas de onda digitales 1.3. Operaciones lógicas básicas 1.4. Funciones lógicas combinatorias y secuenciales 1.5. Introducción a la lógica programable 1.6 Dispositivos lógicos de función fija	1 - 2 2 - 5 5 - 12 12 - 14 14 - 21 21 - 28 28- 32	Capítulo 1 (LT)
3. Puertas lógicas Introducción 3.1. El inversor 3.2. La puerta AND 3.3. La puerta OR 3.4. La puerta NAND 3.5. La puerta NOR 3.6. Puertas OR-Exclusiva y NOR-Exclusiva 3.7. Lógica programable 3.8. Lógica de función fija	117 - 118 119 - 121 121 - 128 128 - 132 132 - 137 137 - 142 142 - 145 145 - 154 154 - 164	Capítulo 3 (LT)

4. Álgebra de Boole y simplificación lógica		
Introducción	185 - 186	
4.1. Operaciones y expresiones booleanas	186 - 188	
4.2. Leyes y reglas del Álgebra de Boole	188 - 193	
4.3. Teoremas de Morgan	193 - 197	
4.4. Análisis booleano de los circuitos lógicos	197 - 200	
4.5. Simplificación lógica mediante el Álgebra de Boole	200 - 204	
4.6. Formas estándar de las expresiones booleanas	204 - 225	
4.7. Expresiones booleanas y tablas de verdad	204 - 214	
4.8. Mapas de Karnaugh	214 - 217	
4.9. Minimización de una suma de productos mediante el mapa de Karnaugh	217 - 228	
4.10. Minimización de un producto de sumas mediante mapas de Karnaugh	228 - 232	
4.11. El método de Quine-McCluskey	232 - 236	
		Capítulo 4 (LT)

Aspectos relevantes

Conceptos digitales:

El estudiante debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Una magnitud analógica posee un conjunto continuo de valores.
- Una magnitud digital posee un conjunto discreto de valores.
- Un dígito binario se denomina **bit**.
- Un impulso se caracteriza por el tiempo de subida, el tiempo de bajada, la anchura del impulso y la amplitud.
- La frecuencia de una señal periódica es el recíproco de su periodo. Las fórmulas que relacionan la frecuencia y el periodo son: $f = 1/T$ y $T = 1/f$
- El ciclo de trabajo de un tren de pulsos es la relación entre el ancho del impulso y el período, expresado como un porcentaje según la siguiente fórmula:

$$\text{ciclo de trabajo} = [t_w/T] 100\%$$
- Un diagrama de tiempos es una representación de dos o más formas de onda que muestra su relación con respecto al tiempo.
- Las tres operaciones lógicas son NOT, AND y OR .
- Las funciones lógicas básicas son: comparación, aritmética, conversión de código, decodificación, codificación, selección de datos, almacenamiento y recuento.
- Las dos categorías físicas más importantes de los encapsulados del CI son: montaje de inserción y montaje superficial.

- Las categorías de los CI según la complejidad del circuito son: SSI (integración de baja escala), MSI (integración de media escala), LSI, VLSI, ULSI (integración a gran escala, a muy gran escala y a ultra gran escala).
- Los dos tipos de dispositivos lógicos programables simples (SPLD) son: PAL (*Programmable Array Logic*) y GAL (*Generic Array Logic*).

Puertas lógicas:

El estudiante debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

- La salida de un inversor es el complemento de la entrada.
- La salida de una compuerta AND es un nivel ALTO sólo si todas las entradas están en nivel ALTO.
- La salida de una compuerta OR es un nivel ALTO si cualquiera de las entradas está a nivel ALTO.
- La salida de una compuerta NAND es un nivel BAJO solo si todas las entradas están a nivel ALTO.
- La compuerta NAND puede expresarse como una compuerta negativa –OR, cuya salida es un nivel ALTO cuando cualquier entrada está a nivel BAJO.
- La salida de una puerta NOR es un nivel BAJO si cualquiera de las entradas está a nivel ALTO.
- La puerta NOR puede expresarse como una puerta negativa –AND, cuya salida es un nivel ALTO sólo si todas las entradas están a nivel BAJO.
- La salida de una puerta OR-exclusiva es un nivel ALTO cuando las entradas son distintas.
- La salida de una puerta NOR-exclusiva es un nivel BAJO cuando las entradas son distintas.

Álgebra de Boole y simplificación lógica:

El estudiante debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

Postulados y teoremas del Álgebra de Boole

Postulado 2	(a) $x + 0 = x$	(b) $x \cdot 1 = x$
Postulado 5	(a) $x + x' = 1$	(b) $x \cdot x' = 0$
Teorema 1	(a) $x + x = x$	(b) $x \cdot x = x$
Teorema 2	(a) $x + 1 = 1$	(b) $x \cdot 0 = 0$
Teorema 3, involución	$(x')' = x$	
Postulado 3, conmutativo	(a) $x + y = y + x$	(b) $xy = yx$
Teorema 4, asociativo	(a) $x + (y + z) = (y + x) + z$	(b) $x(yz) = (yx)z$
Postulado 4, distributivo	(a) $x(y + z) = yx + xz$	(b) $x + yz = (y + x)(x + z)$
Teorema 5, DeMorgan	(a) $(x + y)' = y' x'$	(b) $(xy)' = y' + x'$
Teorema 6, absorción	(a) $x + xy = x$	(b) $x(x + y) = x$

Ejercicios sugeridos

Se recomienda realizar TODOS los ejercicios que aparecen en el recuadro, ya que le ayudarán en la comprensión de los temas estudiados. Estos ejercicios son tomados del libro de texto.

Capítulo	Página	Ejercicios
Capítulo 1	48, 49	1, 3, 5, 7, 9, 11
Capítulo 3	108, 109	1, 3, 5, 7, 9, 11
Capítulo 4	246, 247	1, 3, 5, 7, 9, 11

Solución de ejercicios sugeridos

Capítulo 1

Página 54

Ejercicio	Respuesta
1	B
3	A
5	C
7	B
9	C
11	C

Capítulo 3

Página 184

Ejercicio	Respuesta
1	D
3	A
5	C
7	D
9	D
11	D

Capítulo 4

Página 256

Ejercicio	Respuesta
1	D
3	B
5	D
7	A
9	D
11	C

TEMA 3

LÓGICA DIGITAL

Propósito del tema

Cuando se conectan compuertas lógicas entre sí, con el fin de generar una determinada salida específica para determinadas combinaciones específicas de las variables de entrada, sin que haya implicado almacenamiento, el circuito resultante se califica como lógica combinacional.

En la lógica combinacional, el nivel de salida depende siempre de la combinación de los niveles de entrada. Este capítulo cubre análisis, diseño y localización de fallos de diversos circuitos lógicos combinacionales.

Además, en el capítulo 6 se presentarán distintos tipos de circuitos lógicos combinacionales, incluyendo sumadores, comparadores, decodificadores, codificadores, convertidores de código, multiplexores (selectores de datos), demultiplexores y generadores/comprobadores de paridad. También se incluyen ejemplos de circuitos integrados de función fija.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar el estudio de este tema, el estudiante estará en capacidad de:

Para el Capítulo 5: Análisis de la lógica combinacional

- Analizar los circuitos lógicos combinacionales básicos, tales como AND-OR, AND-OR, Inversor, OR-Exclusiva y NOR-Exclusiva.
- Utilizar los circuitos AND-OR y AND-OR-Inversor, para implementar expresiones como suma de productos y producto de sumas.
- Escribir la expresión booleana de salida para cualquier circuito lógico combinacional.
- Desarrollar la tabla de verdad a partir de la expresión de salida para un circuito lógico combinacional.
- Utilizar el mapa de Karnaugh para expandir una expresión de salida que contenga variables suprimidas en una suma de productos completa.
- Diseñar un circuito lógico combinacional para una expresión booleana de salida dada.
- Simplificar un circuito lógico combinacional a su forma mínima.

- Utilizar compuertas NAND para implementar cualquier función lógica combinacional.
- Utilizar puertas NOR para implementar cualquier función lógica combinacional.

Para el Capítulo 6: Funciones de la lógica combinacional

- Distinguir entre semi-sumadores y sumadores completos.
- Utilizar sumadores completos para implementar sumadores en paralelo binarios de múltiples bits.
- Explicar las diferencias entre sumadores con acarreo serie y sumadores paralelo con acarreo anticipado.
- Utilizar los comparadores de magnitud para determinar la relación entre dos números binarios y utilizar los comparadores en cascada para realizar comparaciones de números más grandes.
- Implementar un decodificador binario básico.
- Convertir, utilizando dispositivos lógicos, números en código binario a código Gray, y código Gray a números binarios.
- Utilizar decodificadores como demultiplexores.
- Explicar el significado de paridad.
- Usar generadores y comprobadores de paridad para detectar errores de bits en los sistemas digitales.

Guía de lecturas

Para lograr los objetivos anteriores, se le sugiere seguir la siguiente guía:

Materia	Páginas	Ubicación
5. Análisis de la lógica combinacional Introducción 5.1 Circuitos lógicos combinacionales básicos 5.2 Implementación de la lógica combinacional 5.3 La propiedad universal de las compuertas NAND y NOR 5.4 Lógica combinacional con compuertas NAND y NOR 5.5 Funcionamiento con trenes de impulsos	257 258 – 263 263 – 269 269 – 274 274 – 276 276 – 279	Capitulo 5 (LT).
6 Funciones de la lógica combinacional Introducción 6.1 Semisumadores y sumadores completos 6.2 Sumadores binarios en paralelo 6.3 Sumadores con acarreo serie y acarreo anticipado 6.4 Comparadores 6.5 Decodificadores 6.6 Codificadores 6.7 Convertidores de código 6.8 Multiplexores (selectores de datos)	309 - 310 310 – 313 313 – 320 320 – 324 324 – 328 328 – 338 338 – 342 342 – 344 344 – 353	Capitulo 6 (LT)

6.9 Demultiplexores	353 – 355	
6.10 Generadores/comprobadores de paridad	355 - 359	

Aspectos relevantes

Análisis de la lógica combinacional:

El estudiante debe tener presentes los siguientes conceptos:

- La lógica AND-OR genera una expresión de salida en forma de suma de productos.
- La lógica AND-OR_inversor genera una forma suma de productos complementada, la cual realmente es una forma producto de sumas.
- El símbolo operacional para la operación OR_exclusiva es \oplus . Una expresión OR-Exclusiva puede expresarse de dos formas equivalentes:

$$AB' + A'B = A \oplus B$$

- Para hacer un análisis de un circuito lógico, se parte del circuito lógico y se desarrolla la expresión de salida booleana o la tabla de verdad, o ambas.
- La implementación de un circuito es el proceso por el que, partiendo de las expresiones booleanas de salida o de la tabla de verdad, se desarrolla un circuito que genera la función de salida.
- Todos los diagramas lógicos AND y NOR deben dibujarse empleando los símbolos duales apropiados, de modo que las salidas invertidas (con círculo) se conecten en entradas invertidas y las salidas no invertidas (sin círculo) se conecten a entradas no invertidas.
- Cuando se conectan dos indicadores de negación (círculos), se cancelan entre sí.

Funciones de la lógica combinacional:

El estudiante debe tener presente los siguientes conceptos:

- El circuito sumador toma las condiciones de sus entradas A y B, realizando una sumatoria de los bits en función de su valor, de forma tal que el resultado del mismo solo podrá variar en un "1" o un "0".
- Cuando las entradas de un sumador son iguales a "1" el resultado de su suma siempre presentará un acarreo igual a "1".
- Cuando las entradas de un sumador son iguales a "0" el resultado de su suma siempre presentará un acarreo igual a "0".
- Un sumador completo aprovecha la respuesta de sumadores simples o semisumadores, de forma tal que la señal de acarreo de salida "Cout" del semisumador anterior se convierte en la entrada de acarreo "Cin" del siguiente semisumador en cascada.

- Los decodificadores se encargan de interpretar las señales que presentan sus entradas en función de las combinaciones de bits para éstas y reaccionan en función del valor binario que éstas representan en función de sus salidas.
- Los comparadores de magnitud aprovechan el valor binario “1” ó “0” que puedan presentar sus entradas y comparan cada una de ellas en función de su valor binario.
- Los codificadores establecen una relación de sus entradas vrs. sus salidas, en función de una representación binaria de sus salidas directamente dependientes de sus entradas.
- Un multiplexor establece el estado de su única salida, en función de los datos que presente éste en sus entradas.
- Un sistema sumador complejo puede constituirse en función de una conexión en cascada de sumadores simples.

Ejercicios sugeridos

Se recomienda realizar TODOS los ejercicios que aparecen en el recuadro, ya que le ayudarán en la comprensión de los temas estudiados. Estos ejercicios son tomados del libro de texto.

Capítulo	Página	Ejercicios
Capítulo 5	298, 299	1, 3, 5, 7, 9, 11
Capítulo 6	369, 370	1, 3, 5, 7, 9, 11

Solución de ejercicios

Capítulo 5

Página 308

Ejercicio	Respuesta
1	D
3	C
5	D
7	A
9	D
11	C

Capítulo 6

Página 383

Ejercicio	Respuesta
1	A
3	C
5	D
7	C
9	A
11	C

TEMA 4

REGISTROS Y ELEMENTOS DE MEMORIA

Propósito del tema

El capítulo 7 cubre aspectos tales como los circuitos biestables, monoestables y los dispositivos lógicos aestables, denominados multivibradores. Los dispositivos biestables se dividen en dos categorías: *flip-flops* y *latches*. Los biestables poseen dos estados estables, denominados SET (puesta a uno o activación) y RESET (puesta a cero o desactivación), en los cuales se puede establecer la información indefinidamente. Esto les hace muy útiles como dispositivos de almacenamiento. La diferencia básica entre *latches* y *flip-flops* es la manera en que cambian de un estado a otro.

Los *flip-flops* son los bloques básicos de construcción para los contadores, registros y otros circuitos de control secuencial, y se emplean también en ciertos tipos de memorias. El multivibrador monoestable, normalmente denominado monoestable, tiene un único estado estable. Un monoestable genera un único impulso de anchura controlada cuando se activa o dispara. El multivibrador aestable no tiene ningún estado estable y se emplea principalmente como oscilador, es decir, como generador de señales automantenido.

Para el capítulo 8 se exponen los registros de desplazamiento como circuitos lógicos secuenciales, que están íntimamente relacionados con los contadores digitales. Los registros se utilizan principalmente para almacenar datos digitales, y normalmente no poseen una secuencia característica interna de estados como los contadores.

Se estudian los tipos básicos de registros de desplazamiento y se presentan diversas aplicaciones.

El capítulo 9, contadores, es una continuación del capítulo 8, en el que se han tratado los registros de desplazamiento, que son un tipo de dispositivos de almacenamiento. De hecho, un registro de desplazamiento es, esencialmente, una memoria, tema que se cubre en el capítulo 11. En sí, las memorias se usan, principalmente, para almacenamiento a más largo plazo y de cantidades mayores de datos de lo que los registros son capaces de permitir.

Las computadoras y otros tipos de sistemas requieren el almacenamiento permanente o semipermanente de un gran número de datos binarios. Los sistemas basados en microprocesadores necesitan de los dispositivos de almacenamiento y de las memorias para su funcionamiento, debido a la necesidad de almacenar los programas y mantener los datos generados durante el procesamiento.

En la terminología informática, normalmente el término memoria hace referencia a las memorias RAM y ROM, y el término almacenamiento hace referencia al disco duro, a los discos flexibles y al CD ROM.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar el estudio de este tema, el estudiante estará en capacidad de:

Para el Capítulo 7: Latches, flip-flops y temporizadores

- Utilizar puertas lógicas para construir *latches* básicos.
- Explicar la diferencia entre un *match* SR y un *latch* D.
- Conocer la diferencia entre un *latch* y un *flip-flop*.
- Explicar en qué se diferencian los *flip-flops* SR, D, JK.
- Comprender el significado de: retardo de propagación, tiempo de establecimiento (*setup time*) tiempo de mantenimiento (*hold time*), frecuencia máxima de funcionamiento, ancho mínimo del impulso de reloj y disipación de potencia en las aplicaciones de los *flip-flops*.
- Emplear los *flip-flops* en aplicaciones sencillas.
- Explicar en qué se diferencian los monoestables redisparables y no redisparables.

Para el Capítulo 8: Registros de desplazamiento

- Identificar las formas básicas para el movimiento de datos en los registros de desplazamiento.
- Explicar cómo funcionan los registros de desplazamiento con: entrada y salida serie, entrada serie y salida paralelo y salida serie, entrada y salida paralelo.
- Describir cómo funciona un registro de desplazamiento bidireccional.
- Determinar la secuencia de un contador Johnson.
- Configurar un contador en anillo para generar una secuencia específica.
- Realizar un contador en anillo a partir de un registro de desplazamiento.
- Utilizar un registro de desplazamiento para implementar un convertidor de datos serie paralelo.
- Implementar un codificador de teclado básico controlado por un registro de desplazamiento.

Para el Capítulo 9: Contadores

- Describir la diferencia entre un contador asíncrono y uno síncrono.
- Analizar los diagramas de tiempos de los contadores.
- Analizar los circuitos contadores.
- Explicar en qué afecta el retardo de propagación al funcionamiento de un contador.
- Determinar el módulo de un contador.

- Modificar el módulo de un contador.
- Establecer las diferencias entre contadores binarios de 4 bits y contadores de décadas.
- Utilizar un contador ascendente/descendente para generar secuencias binarias directas e inversas.
- Determinar la secuencia de un contador.
- Utilizar circuitos integrados contadores en diversas aplicaciones.
- Diseñar un contador que pueda tener cualquier secuencia de estados especificada.
- Conectar varios contadores en cascada para conseguir módulos mayores.
- Utilizar puertas lógicas para decodificar cualquier estado de un contador.

Guía de lecturas

Para lograr los objetivos anteriores, se le sugiere seguir la siguiente guía:

Materia	Página	Ubicación
7. Latches, flip-flops y temporizadores <i>Introducción</i> 7.1. Latches 7.2. Flip-flops 7.3. Características de funcionamiento de los flip-flops 7.4. Aplicaciones de los flip-flops 7.5. Monoestables 7.6. Multivibrador a estable	385 - 386 386 – 393 393 – 405 405 – 408 408 – 413 413 – 422 422 – 426	Capítulo 7 (LT)
8. Registros de desplazamiento <i>Introducción</i> 8.1. Operaciones de los registros de desplazamiento 8.2. Tipos de entradas/salidas de datos de los registros de desplazamiento 8.3. Registros de desplazamiento bidireccionales 8.4. Contadores basados en registros de desplazamiento 8.5. Aplicaciones de los registros de desplazamiento 8.6. Símbolos lógicos con notaciones de dependencia	449 – 450 450 – 451 451 – 462 462 – 466 466 - 469 469 – 477 477– 479	Capítulo 8 (LT)

9. Contadores		
Introducción	497 – 498	
9.1. Máquinas de estados finitos	498 – 500	
9.2. Contadores asíncronos	500 – 508	
9.3. Contadores síncronos	508 – 516	
9.4. Contador síncrono ascendente/descendente	516 – 521	
9.5. Diseño de contadores síncronos	521 – 528	
9.6. Contadores en cascada	528 – 532	
9.7. Decodificación de contadores	532 – 536	
9.8. Aplicaciones de los contadores	536 – 540	
9.9. Símbolos lógicos con notación de dependencia	540 – 542	
		Capítulo 9 (LT)

Aspectos relevantes

Al finalizar cada capítulo el estudiante estará en capacidad de comprender los siguientes conceptos:

Latches, flip-flops y temporizadores:

- Los *latches* son dispositivos biestables cuyo estado depende normalmente de entradas asíncronas.
- Los *flip-flops* disparados por flanco son dispositivos de dos estados con entradas síncronas, cuyo estado depende de las entradas sólo durante la transición de disparo de un impulso de reloj. Los cambios en las salidas ocurren durante las transiciones de disparo del reloj.
- Los multivibradores monoestables tienen un único estado estable. Cuando se dispara un monoestable, la salida pasa a su estado inestable durante un tiempo que está determinado por un circuito RC.
- Los multivibradores aestables no poseen ningún estado estable y se utilizan como osciladores para generar señales de temporización en los sistemas digitales.

Registros de desplazamiento:

- Los contadores basados en registros de desplazamiento son registros de desplazamiento con realimentación, que disponen de secuencias especiales. Ejemplos de ellos son los contadores Johnson y el contador de anillo.
- La secuencia del contador Johnson tiene 2^n estados, donde n es el número de etapas.

- La secuencia del contador en anillo tiene estados.

Contadores:

- Los contadores síncronos y asíncronos únicamente se diferencian en la forma en que se les aplica la señal de reloj. Los contadores síncronos pueden trabajar a frecuencias de reloj mayores que los contadores asíncronos.
- El módulo máximo de un contador es el número máximo de posibles estados y es función del número de etapas (*flip-flop*), por tanto, Módulo máximo = 2^n , donde n es el número de etapas del contador. El módulo de un contador es el número real de estados de la secuencia, y puede ser igual o menor que el módulo máximo.
- El módulo global de los contadores en cascada es igual al producto de los módulos de los contadores individuales.

Ejercicios sugeridos

Se recomienda realizar TODOS los ejercicios que aparecen en el recuadro, ya que le ayudarán en la comprensión de los temas estudiados. Estos ejercicios son tomados del libro de texto.

Capítulo	Página	Ejercicios
Capítulo 7	437, 438	1, 3, 5, 7, 9, 11
Capítulo 8	488, 489	1, 3, 5, 7, 9, 10
Capítulo 9	553	1, 3, 5, 7, 9, 11

Solución de ejercicios

Capítulo 7

Página 446

Ejercicio	Respuesta
1	A
7	D
9	D
13	A
17	D

Capítulo 8

Página 496

Ejercicio	Respuesta
1	B
3	A
5	A
7	C
9	B
10	C

Capítulo 9

Ejercicio	Respuesta
1	C
3	A
5	B
7	A
9	B
11	D

TEMA 5

COMPUTADORAS Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Propósito del tema

Para el Capítulo 11: Almacenamiento de Datos

- Definir las características básicas de las memorias.
- Explicar qué es una memoria RAM y cómo funciona.
- Explicar la diferencia entre RAM estática (SRAM, Static RAM) y RAM dinámica (DRAM, Dynamic RAM).
- Explicar qué es una memoria ROM y cómo funciona.
- Describir los distintos tipos de memorias PROM.
- Estudiar las características de las memorias Flash.
- Describir la expansión de las memorias ROM y RAM para aumentar la longitud y capacidad de palabra.

En el capítulo 12 se tratará el tema del procesamiento digital de señales. Esta técnica es una potente tecnología ampliamente utilizada en muchas aplicaciones, como por ejemplo las de automoción, electrónica de consumo, tratamiento de gráficos/imágenes, electrónica industrial, instrumentación, medicina, tecnología militar, telecomunicaciones y aplicaciones de tratamiento de voz/habla.

El procesamiento digital de la señal aglutina conceptos matemáticos, tecnologías de programación *software* y *hardware* de procesamiento para manipular señales analógicas. Por ejemplo, el procesamiento digital de la señal puede utilizarse para realzar imágenes, comprimir los datos para su eficiente transmisión y almacenamiento, reconocer y generar señales de voz y limpiar señales de audio ruidosas o deterioradas.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar el estudio de este tema, el estudiante estará en capacidad de:

Introducción al procesamiento digital de la señal

- Enumerar los elementos esenciales en un sistema de procesamiento digital de señal.
- Explicar cómo se convierten las señales analógicas en formato digital.
- Explicar el propósito del filtrado.
- Describir el proceso de muestreo.

- Establecer el propósito de la conversión analógica-digital.
- Explicar cómo operan diversos tipos de convertidores ADC.
- Explicar los conceptos básicos de un procesador digital de la señal (DSP).
- Describir la arquitectura básica de un DSP.
- Nombrar algunas de las funciones que realiza un DSP.
- Establecer el propósito de la conversión digital analógica.
- Explicar cómo operan los convertidores DAC.

Guía de lecturas

Para lograr los objetivos anteriores, se le sugiere seguir la siguiente guía:

Materia	Páginas	Ubicación
11. Almacenamiento de datos		
Introducción	633 – 634	
11.1 Fundamentos de las memorias semiconductoras	634 – 639	
11.2 Memorias de acceso aleatorio (RAM)	639 - 654	
11.3 Memorias de sólo lectura (ROM)	654 - 660	
11.4 Memorias ROM programable	660 - 663	
11.5 Memorias Flash	663 - 668	
11.6 Expansión de memorias	668 - 674	
11.7 Tipos especiales de memorias	674 - 679	
11.8 Almacenamiento magnético y óptico	679 - 685	
11.9 Jerarquía de memoria	685 – 689	
11.10 Almacenamiento en la nube	689 - 693	
12.	834 – 836	
Introducción	836 – 837	
12.1 Conversión analógica-digital	837 – 844	
12.2 Métodos de conversión analógica-digital	844 – 856	
12.3 Métodos de conversión digital-analógica	856 – 864	
12.4 Procesamiento digital de la señal	864 – 881	
12.5 Procesador digital de señales (DSP)		

Aspectos relevantes

Al finalizar estos capítulos, el estudiante deberá estar en capacidad de entender los siguientes conceptos:

Memorias y almacenamiento:

- Toda memoria, sea esta una RAM o una ROM, contará con un direccionamiento cuyas entradas son igual a n líneas de conexión, estableciéndose una capacidad de almacenamiento igual a 2^n espacios de memoria.

- Las memorias SRAM son memorias (*Static Random Access Memory*), son estáticas de acceso aleatorio, un tipo de conexión programable volátil de dispositivos PLD basada en celdas de memoria estáticas de acceso aleatorio, y que por programación se pueden activar y desactivar de forma repetida.
- Las memorias DRAM (*Dynamic Random Access Memory*) son dinámicas de acceso aleatorio. Un tipo de memoria semiconductora que utiliza condensadores como elementos de almacenamiento y es una memoria de lectura – escritura volátil.
- Las memorias ROM (*Read Only Memory*) son memorias estáticas que solo permiten un intento de escritura, y se utilizan principalmente para establecer programaciones básicas en dispositivos electrónicos.
- Las memorias EPROM (*Erase Programm Read Only Memory*) son memorias que pueden ser programadas con configuraciones de funciones booleanas en repetidas ocasiones.

Introducción al procesamiento digital de la señal:

- El procesamiento digital de la señal es el procesamiento digital de señales analógicas, habitualmente en tiempo real, con el propósito de modificar o realzar la señal de alguna manera.
- En general, un sistema de procesamiento digital de la señal está compuesto por un filtro *anti-aliasing*, un circuito de muestreo y retención, un convertidor analógico-digital, un DSP, un convertidor digital-analógico y un filtro de reconstrucción.
- El muestreo convierte una señal analógica en una serie de impulsos, donde cada uno de ellos representa la amplitud de la señal en un determinado instante.
- El teorema de muestreo establece que la frecuencia de muestreo debe ser al menos dos veces superior a la frecuencia muestreada más alta (frecuencia de Nyquist).
- La conversión analógico-digital transforma una señal analógica en una serie de códigos digitales.
- Cuatro tipos de convertidores analógicos-digitales (ADC) son: el convertidor *flash* (paralelo), el de doble pendiente, el de aproximaciones sucesivas y el sigma-delta.
- Un DSP es un microprocesador especializado optimizado en términos de velocidad con el fin de procesar los datos a medida que se generan (tiempo real).
- La mayoría de los procesadores de tipo DSP están basados en una arquitectura Harvard, lo que quiere decir que existe una memoria de datos y una memoria de programa.
- Una operación *pipeline* está compuesta con las etapas de extracción, decodificación y ejecución.

- La conversión digital-analógica transforma una serie de códigos digitales que representan una señal analógica, con el fin de restaurar la señal analógica original.
- Dos tipos de convertidores digital-analógicos (DAC) son el convertidor de ponderación binario y el convertidor en escalera R/2R.

Ejercicios sugeridos

Se recomienda realizar TODOS los ejercicios que aparecen en el recuadro, ya que le ayudarán en la comprensión de los temas estudiados. Estos ejercicios son tomados del libro de texto.

Capítulo	Página	Ejercicios
Capítulo 11	699, 700,	1, 3, 5, 7, 9, 11
Capítulo 12	744, 745	1, 3, 5, 7, 9, 11

Solución de ejercicios

Capítulo 11

Página 706

Ejercicio	Respuesta
1	B
3	C
5	A
7	C
9	B
11	B

Capítulo 12

Página 750

Ejercicio	Respuesta
1	B
3	A
5	D
7	C
9	C
11	B

BIBLIOGRAFÍA

- Floyd, Thomas L. (2006). *Fundamentos de Sistemas Digitales*. Pearson Educación SA, Madrid, 2006, ISBN 10: 84-8322-085-7; ISBN 13: 978-84-8322085-6.
- Material Complementario para el curso **Organización de Computadoras**.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Marcovitz, Allan B. *Diseño Digital*, Segunda Edición, Mc Graw Hill, México 2005, ISBN 007-286516-4.
- Wakerly, John F. *Diseño digital: principios y prácticas*. Tercera Edición, Pearson Educación, México 2001. ISBN 970-26-0720-5.
- Stallings, William. *Organización y arquitectura de computadores*. Quinta Edición, Pearson Educación, España, ISBN 84-205-2993-1.
- Murdocca, Miles J. Heuring Vincent P. *Principios de arquitectura de computadoras*. Buenos Aires, Pearson Educación 2002, ISBN 987-9460-69-3.
- Lloris Ruis, Antonio; Prieto Espinoza Alberto; Parrilla Roure Luis. *Sistemas digitales*. Madrid, España. 2000. ISBN 84-481-2146-5.
- Tanenbaum, Andrew S. *Organización de computadoras, un enfoque estructurado*. Cuarta Edición, México 2002. ISBN 0-13-095990-1.
- Morris, Mano M. *Diseño digital*. Tercera edición. México 2003. ISBN 970-260438-9.
- Hamacher, Carl; Vranesic, Zvonko; Zaky Safwat; *Organización de computadores*. Quinta Edición, España; ISBN 007-232086-9.
- Mano, Morris. *Lógica digital y diseño de computadoras*. Prentice Hall Hispanoamericana SA, México, 1982.