

# CURSO DE ELECTRÓNICA DIGITAL ASISTIDO POR ORDENADOR

M. Romero<sup>1</sup>, G. González de Rivera<sup>2</sup> y E. Boemo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ETSI Telecomunicación, 28040 Ciudad Universitaria, Madrid.

<sup>2</sup> Universidad Alfonso X El Sabio, 28691 Villanueva de la Cañada, Madrid

e-mail: ivan@die.upm.es, gdrivera@uax.es

**RESUMEN.-** Se presenta un curso bajo Windows para el estudio de Electrónica Digital, formado por una sucesión de temas teóricos, ejercicios y exámenes, organizado con estructura de hipertexto. En función de las respuestas a los exámenes, el programa permite al alumno continuar con el curso (si se supera la nota mínima especificada por el profesor), repetir el tema o bien, opcionalmente, indica los capítulos y secciones de los libros de la asignatura que deberían ser estudiados nuevamente. Por otra parte, el programa permite al profesor la realización de exámenes y la generación automática de estadísticas sobre los resultados del mismo. El curso consta de alrededor de 300 gráficos repartidos en 250 páginas. Tanto el curso como el lenguaje de autor utilizado para su realización son de libre disponibilidad.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Los cursos asistidos por ordenador (*coursewares*) presentan algunas características de utilidad para complementar a un libro de texto clásico: alta interactividad, bajo costo de reproducción, facilidad de distribución, modificación y actualización. Por otra parte, actualmente pueden materializarse en un tiempo razonable, reutilizando el material docente ya existente en la asignatura (transparencias, problemas, apuntes de clase, etc.) usualmente realizado con procesadores de textos, programas de dibujo, captura de esquemáticos o simuladores de circuitos. Finalmente, los cursos asistidos por ordenador abren el camino a campos más especializados de la enseñanza tales como la animación, la automatización de la corrección de exámenes, o la educación a distancia.

En este artículo se presenta un curso de Electrónica Digital, cuyo contenido incluye los principales temas que se estudian en las ingenierías y licenciaturas. Esta herramienta está concebida como complemento a un curso clásico; su principal objetivo es dar al estudiante la posibilidad de repasar los conocimientos adquiridos a través de la lectura de una serie de hojas-resúmenes y la realización de exámenes cortos. Para ello se ha utilizado una organización jerárquica de tipo hipertexto, que permite al estudiante navegar a través de sus páginas, seleccionar el grado de profundidad de cada tema según su nivel de conocimiento, obtener ayudas sobre determinados conceptos o sobre el propio manejo del programa. Al finalizar cada tema, se presentan al estudiante una serie de páginas de examen, cuyas respuestas quedan registradas en un fichero para su posterior análisis por parte del profesor.

El programa ha sido desarrollado utilizando un Lenguaje de Autor propio, desarrollado previamente [1]. Éste consta de los siguientes módulos:

*genera*: Suministra al profesor el soporte necesario para el diseño y generación del curso. Incluye las herramientas para realizar páginas de examen, hipertexto, dibujos e importar gráficos.

*curso*: Es el programa que implementa el curso propiamente dicho, cuyo ejecutable debe entregarse al alumno.

*prof*: Herramienta para el profesor. Permite medir los progresos de cada alumno o de la clase. Está orientada a la evaluación asistida por ordenador en aspectos como: puntuación en los exámenes, tiempos empleados en cada página del curso o la realización de estadísticas.

El curso resultante ocupa 2 Mb de disco y funciona en cualquier IBM PC o compatible que soporte *Windows*; consta de alrededor de 300 gráficos realizados con *Power Point* repartidos en 250 páginas; el tiempo total de desarrollo del curso ha sido estimado en 4 hombres-mes.

## 2.- CONTENIDO DEL CURSO

Para la realización del curso se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de los principales libros de texto de Electrónica Digital [2]-[8]. El temario seleccionado abarca desde la definición de las puertas lógicas más simples hasta el diseño de sistemas digitales basados en lógica programable. Los principales puntos del curso se resumen en la Tabla 1.

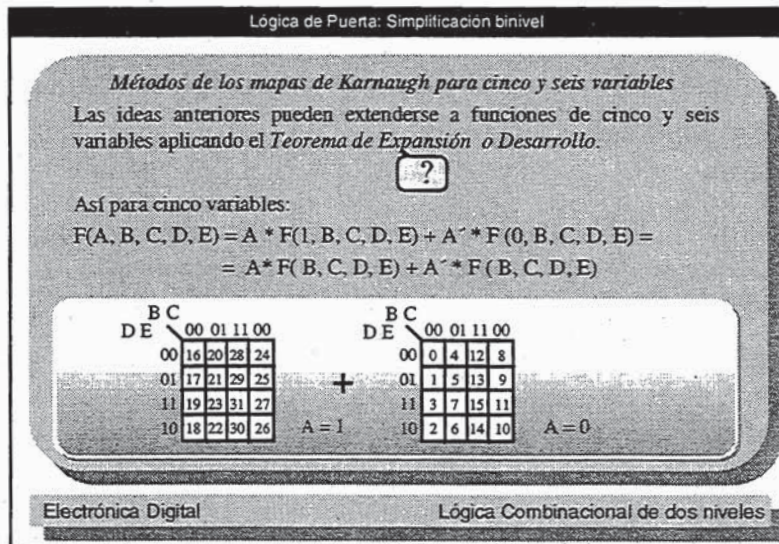
---

Introducción:	Tipos de descripción de un sistema digital. Sistemas de numeración.
Lógica Combinacional:	Funciones lógicas. Puertas lógicas. Simplificación. Conversión de formatos. Respuesta temporal. <i>Hazards</i> y <i>Glitches</i>
Dispositivos Lógicos Programables:	<i>PALs</i> y <i>PLAs</i> (actualmente se está realizando un curso completo sobre <i>FPGAs</i> ).
Módulos Basados en Lógica Combinacional:	Multiplexores. Codificadores y Decodificadores. Memorias.
Diseño de Lógica Secuencial:	Biestables. Metodología de sincronización. Conversiones entre diferentes tipos de biestables.
Ejemplos de circuitos secuenciales:	Registros y contadores.
Máquinas de Estados Finitos:	Diseño y optimización. Concepto y representaciones. Máquinas de Moore y Mealy. Reducción y optimización.

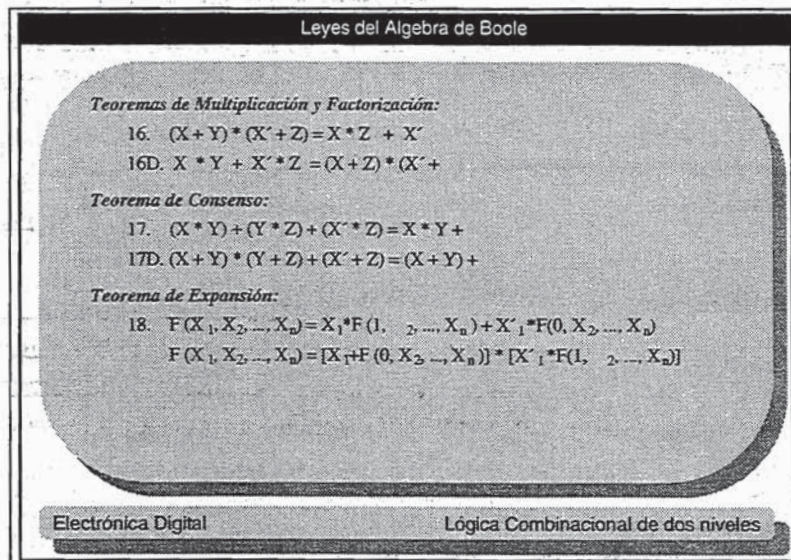
---

**Tabla 1**

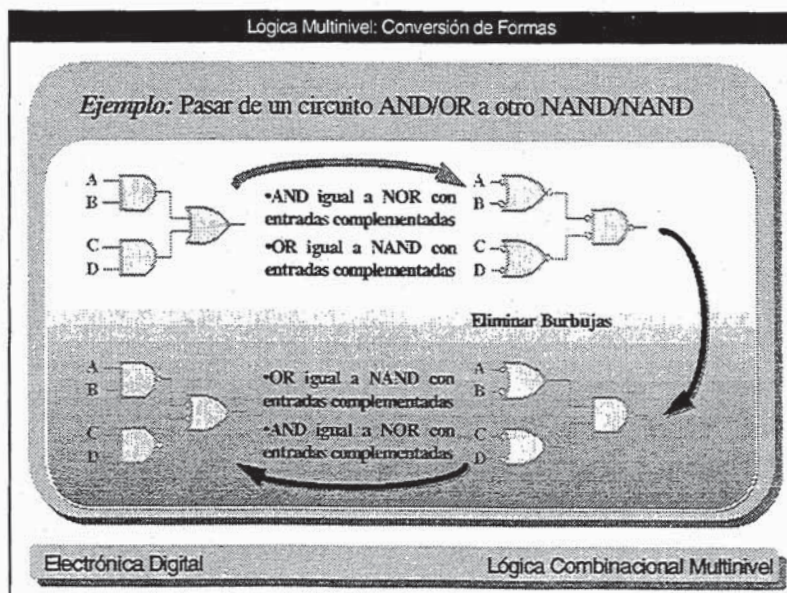
En la Fig.1 se muestra una página de ejemplo en la que se hace referencia a un tema ya estudiado. Actuando sobre el símbolo de interrogación se puede acceder al lugar donde se explicó el anterior concepto (Fig. 2). En las Fig. 3 y 4 se presentan ejemplos de otras páginas del curso.



**Figura 1**



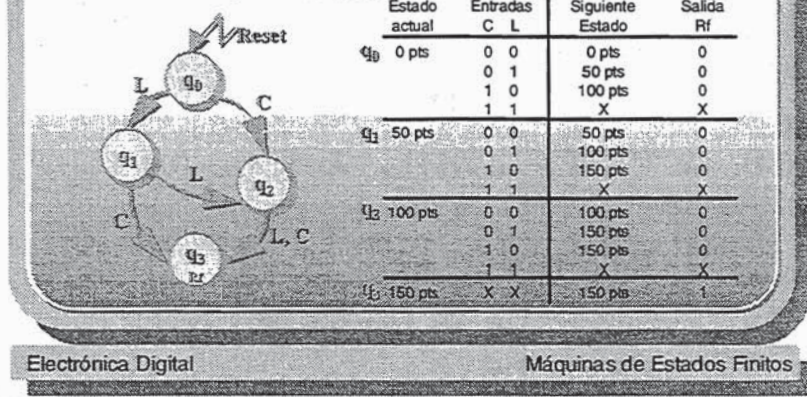
**Figura 2**



**Figura 3**  
146

## Ejemplo. Máquina expendedora de refrescos. (Continuación)

## Paso 3. Minimización de Estados.



Electrónica Digital

Máquinas de Estados Finitos

Figura 4

El tema ha sido organizado en 8 módulos, cada uno en un fichero separado, compatibles con el programa curso. En el Módulo 1 se realiza la introducción de los conceptos básicos: formas de representación de un sistema digital (conmutadores, tablas de verdad, funciones, puertas, etc.), y sistemas numéricos. Para la creación de este tema se ha tomado como base bibliográfica el Capítulo 8 “Representación Digital de Información”, de [2]; el Capítulo 1 “Introduction” y el Apéndice A “Number Systems”, de [3]; y el Capítulo 1 “Sistemas Numéricos y Códigos”, de [4].

El Módulo 2 está centrado en la lógica combinacional, álgebra de Boole, la enumeración de sus leyes y la definición de las funciones básicas. También se incluyen las técnicas de representación y simplificación de los Mapas de Karnaugh. La bibliografía básica de este tema es el Capítulo 1 “Álgebra de conmutación”, de [2]; el Capítulo 2 “Simplificación de Expresiones Booleanas, de [2]; y el Capítulo 2: “Two level combinational logic”, de [3].

El Módulo 3 amplía los conceptos anteriores. Se presentan algunos métodos para optimizar la implementación de una función lógica en velocidad de respuesta, el número y tipo de circuitos integrados necesarios, la eliminación de señales espurias, etc. Se presentan las equivalencias entre funciones lógicas elementales y los métodos para la eliminación de *glitches*. Como bibliografía básica se ha seguido el Capítulo 3 “Circuitos Digitales Integrados”, de [2]; el Capítulo 9 “Operaciones Aritméticas y Lógicas”, de [2]; el Capítulo 3 “Multilevel Combinational Logic”, de [3]; y el Capítulo 3 “Principios de Diseño Lógico Combinacional”, de [4].

El Módulo 4 se centra en los dispositivos lógicos programables sencillos tales como las PALs y las PLAs junto con una serie de ejemplos prácticos de diseño. La principal bibliografía en este tema ha sido el Capítulo 4 “Programmable and Steering Logic”, de [3] y el Capítulo 5 *Combinational Circuit Design with Programmable Logic Devices*, de [5].

En el Módulo 5 se presentan algunos de los principales bloques digitales: puertas de transmisión, multiplexores, codificadores, decodificadores y los distintos tipos de memorias. Las referencias bibliográficas de este tema son el Capítulo 10 “Multiplexores y Codificadores”, de [2]; el Capítulo 14 “Memorias”, de [2]; el Capítulo 4 “Programmable and Steering Logic”, de [3] y el Capítulo 4 “Modular Combinational Logic”, de [5].

En los Módulos 6 y 7 se introducen los circuitos secuenciales. El primero se enfoca en los biestables S-R, J-K, T y D, mientras que el siguiente módulo trata sobre bloques secuenciales como contadores y registros. Para la elaboración de estos temas se ha seguido el Capítulo 11 "Biestables", de [2]; de [3], el Capítulo 5 "Principios de Diseño Lógico Secuencial", de [4]; el Capítulo 6 "*Introduction to Sequential Devices*", de [5]; el Capítulo 12 "Registros y Contadores", de [2]; el Capítulo 7 "*Sequential Logic Case Studies*", de [3] y el Capítulo 6 "Prácticas de Diseño Lógico Secuencial", de [4].

Finalmente, en el Módulo 8 se analiza la síntesis y optimización de circuitos secuenciales síncronos y maquinas de estados finitos. La base bibliográfica utilizada es el Capítulo 16 "Introducción al Análisis y Diseño de Circuitos Secuenciales Síncronos", de [2]; el Capítulo 8 "*Finite State Machine Design*", de [3]; el Capítulo 6 "Prácticas de Diseño Lógico Secuencial", de [4]; el Capítulo 8 "*Analysis and Synthesis of Synchronous Sequential Circuits*", de [5]; y el Capítulo 9 "*Circuitos Secuenciales*", de [7].

El curso además incluye un manual de instalación y una breve referencia sobre la utilización del lenguaje de autor.

### 3.- CONCLUSIONES

Se ha presentado un programa de enseñanza asistida por ordenador, cuyo contenido puede resultar de utilidad para la comunidad universitaria española e iberoamericana. Para su construcción se ha utilizado un Lenguaje de Autor propio, que facilita la realización de cursos en el entorno Windows. Todo el material utilizado, de libre disponibilidad, puede ser solicitado a los autores.

### 4.- REFERENCIAS

- [1] I. Pérez Noriega, F. Barbero y E. Boemo "Generador de Cursos de Autoaprendizaje bajo Entorno Windows", *Actas I Congreso sobre Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, pp. 313-321. Madrid: GATE-UPM, 1994.
- [2] E. Muñoz (Editor), "*Circuitos Electrónicos: Digitales II*", Servicio de Publicaciones, ETSI Telecomunicación. Madrid, 1989.
- [3] Randy H. Katz, "*Contemporary Logic Design*" y "*Instructor's Guide. Contemporary Logic Design*", The Benjamin/Cummings Publishing Cia. Inc., Addison-Wesley, 1994.
- [4] John F. Wakerly. "*Diseño Digital. Principios y Prácticas*". Prentice-Hall, 1992.
- [5] V.P. Nelson, H.T. Nagle, B.D. Carroll, J.T. Irwin, "*Digital Logic Circuits Analysis and Design*" y "*Problem Solutions Manual. Digital Logic Circuits Analysis and Design*", Prentice-Hall Inc, 1995.
- [6] Charles H. Roth Jr. "*Fundamentals of Logic Design*". West Publishing Company, 1992.
- [7] Lorenzo Prieto M A. Sistemas Digitales. "*Circuitos. Secuenciales*", Dpto. Publicaciones de la E.U. de Informática, UPM.
- [8] Theodore F. Bogart JR. "*Introduction of Digital Circuits*", McGraw Hills International Editions. 1992.