

Metodología y necesidades computacionales en Sistemas Digitales

Javier García Zubía

Dept. de Arquitectura de Computadores.

Facultad de Ingeniería. ESIDE

Universidad de Deusto

Apdo. 1. 48080 Bilbao. España

e-mail: zubia@eside.deusto.es

Resumen

Se presentan las necesidades metodológicas de la disciplina de Sistemas Digitales y un estudio de lo que debería ser un entorno didáctico en este campo. Frente a estas necesidades se analiza lo que ofrecen los sistemas profesionales comunmente utilizados en el aula, y que resultan ser poco adecuados e incluso negativos para el alumno. Como solución a lo anterior se presenta y analiza el entorno didáctico de sistemas digitales a nivel de bit BOOLE-DEUSTO.

1. La asignatura de Sistemas Digitales

Dentro del plan de estudios de informática existe una asignatura que se encarga de establecer los fundamentos teóricos y prácticos del diseño de computadores. La asignatura en cuestión suele adscribirse al departamento de Arquitectura de Computadores y sus nombres más comunes son: Sistemas Digitales, Electrónica Digital y especialmente Tecnología de Computadores.

El objetivo de la asignatura es que al acabar el curso el alumno sea capaz de analizar y diseñar en detalle un computador básico, para ello el alumno debe adentrarse en el estudio de los Sistemas Digitales.

Desde el punto de vista de los contenidos la asignatura consta de cuatro grandes temas:

- Fundamentos de Sistemas Digitales: codificación binaria, álgebra de Boole y técnicas de representación de sistemas digitales.
- Análisis y Diseño de Sistemas Combinacionales: codificador, decodificador,

comparador, multiplexor, demultiplexor, paridad y sistemas a nivel de bit.

- Análisis y Diseño de Sistemas Secuenciales: biestables, registros, contadores, autómatas y memorias.
- El Computador Básico.

Visto el ámbito de los contenidos, la figura 1 sitúa el ámbito práctico de la asignatura. Un sistema digital puede ser implementado con transistores, puertas (nivel de bit), circuitos MSI y PLD's (nivel de palabra) o circuitos programables tipo FPGA y ASIC (nivel de sistema). Los sistemas básicos se implementan en los niveles más internos de la figura (puertas y MSI), mientras que los sistemas complejos se implementan con FPGA's o ASIC's. Los sistemas de la asignatura son básicos, y por tanto su ámbito práctico-tecnológico no vas allá de los circuitos MSI.

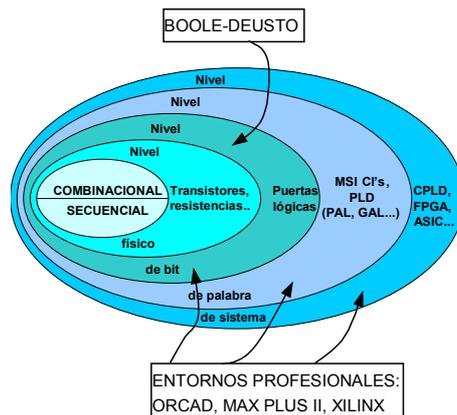


Figura 1. Niveles y tecnologías de Sistemas Digitales

Tenemos por tanto que la asignatura de Sistemas Digitales mira hacia el computador básico,

	Enunciado Textual	Expresión Booleana	Tabla de Verdad	Forma Normal	Diagrama V-K	Expresión SOP	Expresión POS	Expresión NAND NOR	Circuito Lógico
Tabla de Verdad	H	NH		NH	NH	NH		NH	NH
Forma Normal	H	NH	NH			NH	NH		
Diagramas de V-K		NH	NH	NH			NH		NH
Exp. SOP o POS		NH		NH				NH	NH
Exp. Simplificada	H	H		H	H	H			
Exp. NAND/NOR		NH		NH			NH		NH
Circuito lógico	H	NH		NH			NH	NH	
Programa PLD	H	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH

Tabla 1. Clasificación de los métodos básicos de Sistemas Digitales

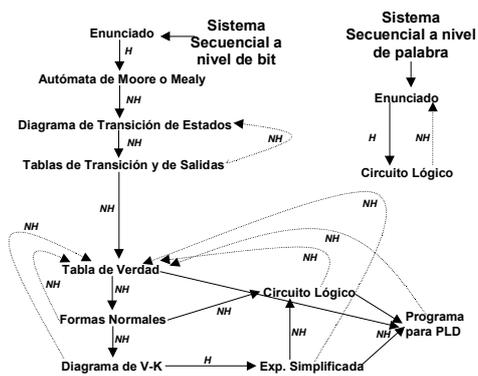


Figura 3. Análisis y diseño de sistemas secuenciales

Resumiendo, y centrándonos sólo en el nivel de bit, el análisis y diseño de sistemas combinacionales y secuenciales a nivel de bit consiste en la aplicación ordenada de una serie de métodos heurísticos y no heurísticos.

3. Características de un entorno computacional didáctico

El profesor en clase enuncia el método a aplicar y completa algún ejemplo. El alumno en casa debe afirmar lo aprendido, completando nuevos ejercicios. El papel de un entorno educativo en este escenario es doble:

- Comprobar que los resultados obtenidos por el alumno están bien.

- Mostrar al alumno cómo se aplica un método; recordarle los pasos.

Para que el entorno lleve a cabo con éxito su trabajo debe tener una serie de características:

- Completo. Debe contemplar el mayor número posible de métodos.
- Utilizable. Debe adaptarse a los conocimientos y posibilidades del alumno.
- Amigable. Debe ser fácil e intuitivo de usar y visual en los resultados.
- Didáctico. Debe mostrar todos los pasos que le llevan a un resultado.
- Instalable. Debe ser fácil de instalar.
- Precio. Debe tener el menor precio posible.

En no pocas ocasiones los entornos computacionales no ayudan al alumno; es más le confunden, generando frustración y desconocimiento. A nuestro parecer es mejor no utilizar un entorno computacional si éste es inadecuado.

4. Estudio de los entornos profesionales

Estudiemos a la luz de los puntos anteriores la idoneidad didáctica de los entornos profesionales como ORCAD, MAX PLUS II, XILINX Foundation, Electronic WorkBench, etc.

En primer lugar recordemos que estos entornos son profesionales; su objetivo es ayudar en el diseño de circuitos electrónicos, no ayudar al alumno. Veamos algunas de sus características:

- No le interesan los métodos, le interesan sus resultados: los circuitos electrónicos.
- Su usuario final es el profesional.
- Su uso es tan potente como complicado.
- No es didáctico; sólo busca los resultados.
- Es difícil de instalar.
- Es generalmente caro.

A los entornos profesionales sólo les interesa el circuito -ya sea a nivel de puertas, MSI, PLD's o FPGA- que se corresponde con la descripción original. De este modo vemos qué lejos están las posibilidades de un entorno profesional de las necesidades de un alumno, y que se necesita un entorno de carácter prioritariamente didáctico.

Antes de seguir ha de quedar claro que no se cuestiona en ningún caso a los entornos profesionales, ni se dice que no se usen a la hora de diseñar sistemas digitales, simplemente el trabajo plantea que no se deben usar con fines didácticos.

5. Diseño de un entorno didáctico adecuado: BOOLE-DEUSTO

Atendiendo a los resultados obtenidos en el punto anterior, hemos diseñado un entorno cuyos objetivos y especificaciones son puramente didácticos.

El entorno en cuestión se llama BOOLE-DEUSTO y ha sido diseñado por los profesores Jesús Sanz Martínez y Javier García Zubía durante los últimos cinco años.

La tabla 2 confronta las características de los entornos profesionales y del BOOLE aquí presentado. Se puede ver como en la mayoría de los casos las características resultan antitéticas, aunque no excluyentes.

Al observar la tabla no se debe concluir erróneamente que el profesor debe optar por uno u

otro, sino que el BOOLE es adecuado al principio de la formación del alumno, para trabajar en el aula y en casa (hasta el nivel de bit), y que los entornos profesionales son adecuados para trabajar en el laboratorio, diseñando circuitos reales (desde el nivel de palabra hasta FPGA's).

Describamos algo más el entorno BOOLE. La tabla 3 es la tabla 1 reescrita; donde una cruz significa que BOOLE dispone del método para pasar de una representación a otra. A la vista de la tabla 3 parece acertado el término *calculadora booleana* que le asignamos a BOOLE, ya que con un simple clic de ratón permite acceder a multitud de métodos, como una calculadora con los números y las operaciones aritméticas.

ENTORNO BOOLE-DEUSTO	ENTORNOS PROFESIONALES
Didáctico	Profesional
Necesidades del alumno	Necesidades del profesional
Hasta nivel de bit	Hasta nivel de sistema
Proyectos sencillos	Proyectos complejos
El alumno controla a la herramienta	El usuario es dirigido por la herramienta
Interesa el proceso	Sólo interesa el resultado
Sin instalación	Instalación compleja
Es muy fácil de usar	Críptico y difícil de usar
Es gratis y de libre distribución	Coste generalmente elevado
No tiene simulación temporal	Sí tiene simulación temporal
No permite la captura gráfica de un circuito	Permite la captura gráfica de un circuito

Tabla 2. Comparación entre BOOLE y los entornos profesionales

	Enunciado Textual	Exp. Booleana	Tabla de Verdad	Forma Normal	Diagr de V-K	Expr. SOP	Expr. POS	Exp. NAND	Exp. NOR	Circuito Lógico
Tabla de Verdad		X		X	X	X		X		
Forma Normal		X	X			X	X		X	
Diagramas de V-K		X	X	X			X		X	
Exp. SOP o POS		X	X	X	X					
Exp. Simplificada		X	X	X	X	X		X		
Exp. NAND/NOR			X	X	X	X				
Circuito lógico			X	X	X	X		X		
Programa PLD		X	X	X	X	X		X		

Tabla 3. Métodos del entorno BOOLE-DEUSTO para sistemas combinacionales

Si la tabla 3 describía a los sistemas combinacionales, veamos qué permite BOOLE para los secuenciales:

- La captura gráfica del autómata de Moore o Mealy (al estilo de los entornos profesionales).
- La modificación interactiva del autómata.
- La simulación gráfica interactiva y batch del autómata.
- La reducción del número de estados del autómata.
- La codificación de estados (actualmente en desarrollo).
- La obtención de las tablas de transición de estados, codificación y excitación de biestables.
- La obtención de las expresiones simplificadas para biestables J-K y D.
- La obtención del circuito lógico para biestables J-K y D.

Se puede ver que BOOLE cubre la totalidad del análisis y diseño clásico de autómatas con un número de métodos superior a veinte.

6. Breve descripción de BOOLE

No es el objetivo de este trabajo el describir al completo el BOOLE-DEUSTO, pero sí podemos mostrar algo de su aspecto y algunas de sus características. Recordemos que BOOLE está centrado exclusivamente en el nivel de bit; en el diseño con puertas y biestables.

Las figuras 4 y 5 son: el diagrama de V-K y el circuito lógico de un sistema combinacional.

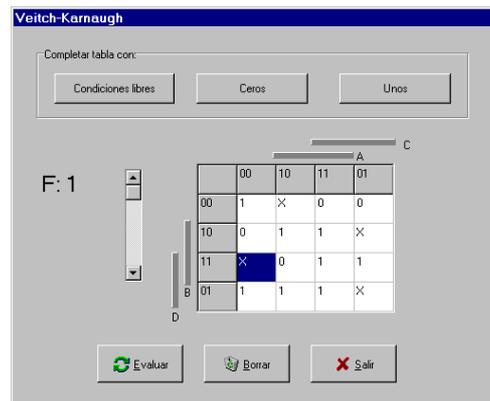


Figura 4. Diagrama de Veitch-Karnaugh en BOOLE

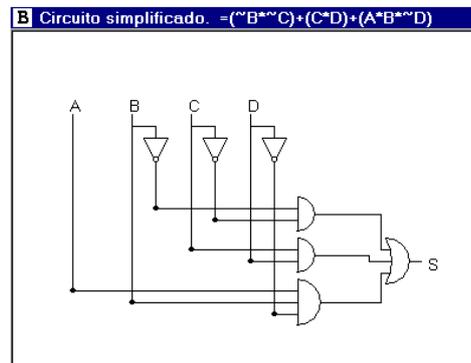


Figura 5 Circuito lógico del sistema cargado

Las figuras 6, 7 y 8 son un autómata de Moore, sus tablas y su circuito lógico con biestables J-K, respectivamente.

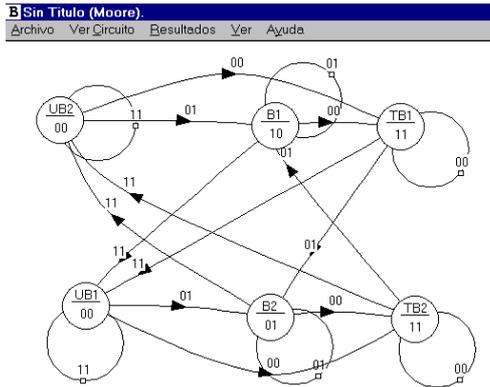


Figura 6. Captura gráfica de un autómata de Moore

Tabla de transición de estados				Tabla de codificación de estados				Tabla de transición de estados codificados			
	00	01	10		00	01	10		00	01	10
UB2	TB1	B1	X	UB2	00	01	10	000	00	001	010
B1	TB1	B1	X	UB1	010	01		001	10	001	000
UB1	TB2	B2	X	UB1	010	01		010	10	011	000
B2	X	X	X	B2	011			011	10	011	000

Tabla de excitación de biestables								Tabla de salida	
S1	S0	B2	B1	Q2	Q1	Q0	Q3	S1	S0
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	1	1	0	0

Subrutinas:

```

Q0<= !E1 & !E1 & Q0;
Q1<= !E1 & !E1 & Q1;
Q2<= !E1 & !E1 & Q2;
Q3<= !E1 & !E1 & Q3;
Q0<= !E1 & !E1 & Q0;
Q1<= !E1 & !E1 & Q1;
Q2<= !E1 & !E1 & Q2;
Q3<= !E1 & !E1 & Q3;

```

Figura 7. Resultados y tablas del autómata de Moore

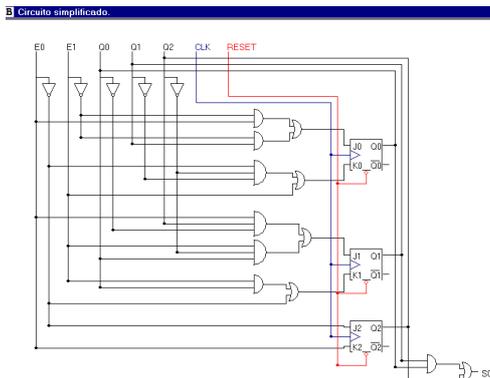


Figura 8. Circuito lógico del autómata de Moore

7. Utilización en el aula

Actualmente el programa BOOLE-DEUSTO es utilizado al año por 700 alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto. Dichos alumnos cursan estudios de ingeniería informática e industrial, indistintamente.

Los alumnos pueden acceder gratuitamente al programa a través de la página de la facultad: alumnos.eside.deusto.es. También pueden ponerse en contacto con Javier García Zubía en zubia@eside.deusto.es.

En cuanto a los resultados podemos decir que la valoración por parte de los alumnos es muy positiva. Además un gran número de docentes de otras facultades se ha interesado por BOOLE, y ya disponen de él. Quede como muestra de la aceptación y utilidad de BOOLE el Premio al Mejor Equipo Software recibido el congreso TAAE 2000.

8. Conclusión

La disciplina de Sistemas Digitales exige al alumno el dominio de un buen número de métodos, tanto heurísticos como no heurísticos, resultando fundamental para el alumno el apoyo que proporciona un entorno computacional. Sin embargo un estudio de los entornos más utilizados en el aula revela su poca idoneidad y su nula ayuda en la formación del aula. Para superar esta situación se ha presentado el entorno BOOLE-DEUSTO, que desde una perspectiva casi exclusivamente didáctica ayuda al alumno en su aprendizaje.

En sus primeros pasos (hasta el nivel de bit) el alumno se apoyará en BOOLE, y a partir de ahí (desde el nivel de palabra) el alumno podrá utilizar con seguridad y fundamento los entornos profesionales.

Referencias

- [1] J. García Zubía, *Proyecto docente de electrónica digital*, marzo 2000.
- [2] J. García Zubía, "Improving the teaching/learning of Fundamentals of Analysis and Design of Digital Systems", *First Online Symposium on Electronic Engineering*, diciembre de 2000.