

La Transición en la Enseñanza de los Sistemas Digitales en las Carreras de Electrónica e Ingeniería de Cómputo Debido al Uso de los Dispositivos Lógicos Programables

M. en C. Juan Carlos González Robles
Jefe del Departamento de Innovación y Desarrollo Tecnológico del CIDETEC-IPN.
M. en C. Eduardo Vega Alvarado
Jefe del Departamento de Información y Documentación del CIDETEC-IPN.

Razones tales como la multiplicidad de las aplicaciones dedicadas, los altos costos en la fabricación de los dispositivos, así como los bajos volúmenes requeridos de estos y la necesidad de reducir el área o tamaño de los circuitos impresos han obligado a que los grandes fabricantes de dispositivos ofrezcan nuevas series de circuitos integrados. Estas familias incluyen productos conteniendo hasta 60,000 compuertas básicas libres, donde el usuario define la interconexión final entre dichas compuertas, logrando así implantar aplicaciones específicas.

Esta evolución a generado diversos dispositivos, teniendo mayor aceptación los Arreglos de Compuertas Programables en Campo (FPGA), los cuales, por su bajo costo a bajos volúmenes, permiten obtener en campo las aplicaciones requeridas, que posteriormente puedan dar paso a la producción de los Arreglos de Compuertas Programables por Máscara (MPGA's).

Así, la posibilidad de diseñar prototipos y simularlos al instante, permite disponer de aplicaciones industriales para validar su realización en los procesos de manufactura.

Todo esto motiva, de manera notable, cambios en la enseñanza de los sistemas digitales en las carreras de ingeniería electrónica y ciencias computacionales, obligando con esto a que su curricula integre más opciones sobre el diseño de circuitos con base en estas tecnologías.

Antecedentes

En la década de 1970, cuando los circuitos lógicos Transistor-Transistor (TTL) se introdujeron al mercado, estos se constituyeron como los elementos básicos para los diseñadores de sistemas digitales. Por muchos años, la estructura de estos circuitos se mantuvo, cambiando solamente su tecnología de proceso para hacerlos más versátiles y rápidos, como fueron los casos de Low Power Schottky (LS), Fast (F), HCMOS, Advanced CMOS Logic (ACL), BiCMOS (BCT) y Advanced BiCMOS Technology (ABT), entre otros.

Hacia 1980 aparecen en el mercado los dispositivos lógicos programables (PAL). Estos productos tienen un arreglo de compuertas Y (AND), las cuales se conectan a una gran compuerta O (OR). El primer circuito PAL fue el 16L8, de 20 terminales, con soporte para 8 salidas y hasta 16 entradas con tecnología Bipolar. La mayor aportación de estos dispositivos PAL fue la de generar aplicaciones específicas en muy corto tiempo.

Los dispositivos de Arreglos Lógicos Genéricos (GAL), tienen salidas conectadas a macroceldas, las cuales pueden configurarse como sistemas combinatorios o lógica con registros. Un dispositivo GAL muy común es el 16V8, que reemplaza a 24 tipos de PAL's. Las GAL's están construidas con tecnología CMOS, lo que permite reducir el consumo de potencia en relación con las PAL's.

Mientras que las GAL's tienen el mismo número de terminales que las PAL's (20 a 24), los dispositivos Lógicos Programables Borrables (EPLD), disponen de 20 a 68 terminales. El EPLD puede programarse con registros tipo D, JK, T y SR, con hasta 4 señales de reloj independientes, consumiendo la mitad de potencia que una GAL, a un bajo costo.

El siguiente desarrollo importante en esta evolución, los FPGA's, ha resultado un medio atractivo para la implementación de circuitos lógicos, permitiendo al instante establecer prototipos a costos muy bajos. Con esto, la sustitución de los circuitos VLSI se está realizando por dispositivos MPGA, donde estos últimos sólo requieren la máscara final, que surge de la versión prototipo desarrollada por el uso de los FPGA's.

La tecnología VLSI (Very Large Scale Integration) ha abierto la puerta para la implantación de circuitos digitales de muy bajo costo haciendo posible construir dispositivos de más

de un millón de transistores, como es el caso de los microprocesadores. El diseño de circuitos VLSI, obliga a ubicar cada uno de sus subsistemas en base a criterios de disminución de área y consumo de energía. Este tipo de proceso requiere grandes esfuerzos de manufactura, que pueden llevar incluso meses. El resultado representa un alto costo por unidad, por lo que será necesaria la fabricación de grandes volúmenes de dispositivos; un costo relativo de la producción usando esta técnica puede oscilar de los \$20,000 a los \$200,000 dólares por pieza.

En la industria de la electrónica es vital la investigación del mercado para la ubicación del nuevo producto en el menor tiempo posible, lo cual deriva en reducciones de tiempo tanto en el desarrollo como en la producción. Adicionalmente a esto, los riesgos financieros hacen necesario que el desarrollo del nuevo producto sea limitado en relación a como fue pensado el prototipo. Los FPGA's han emergido como una solución última que minimiza los riesgos financieros y de mercado, pudiendo producir rápidamente prototipos de muy bajo costo. Un FPGA puede programarse para una aplicación en razón de minutos, y el costo por prototipo oscila en el rango de los \$100 a \$150 dólares. Un dispositivo de compuertas programables tiene una estructura tal que puede configurarse directamente por el usuario final, sin la dependencia de un sistema de producción.

En la **figura 1** se muestra la densidad de dispositivos lógicos programables por importancia en uso, a partir de los EPLD. Dependiendo de las compuertas a utilizar y la aplicación, el número de compuertas a usar pueden diferir significativamente de la cantidad nominal de compuertas. Un dispositivo complejo de PLD (CPLD) puede proveer alrede-

edor de 300 multivibradores, mientras que un FPGA puede implementar más de 1000. Por ejemplo, los dispositivos FPGA de la compañía Texas Instruments, incluyen productos dentro de un rango de 1000 a 10000 compuertas.

Consideraciones para el Diseño de Sistemas Digitales

En la actualidad, la mayoría de los sistemas CAD para circuitos digitales, están integrando sistemas para diseño y simulación usando dispositivos FPGA.

En estudios recientes se ha encontrado que la mayoría de los productores de dispositivos esperan que para el año 2000, el 40% del total de los dispositivos usados en el mundo, incluyendo microprocesadores y memorias, sean del tipo ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Para esta fecha, los ASIC's usados alcanzarán el rango de las 200,000 compuertas, con 300 I/O (Entradas/Salidas) y de 3 a 6 ns de tiempo de propagación.

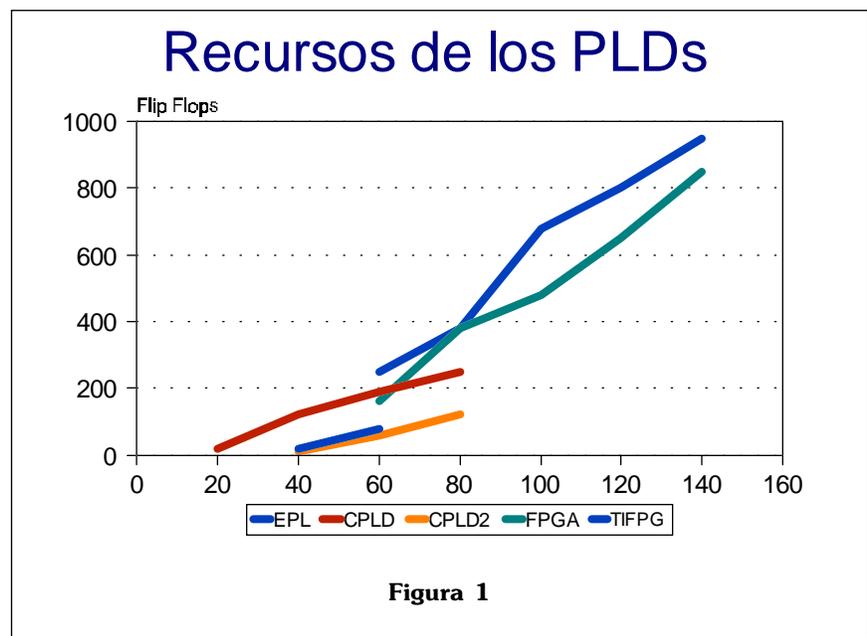
Hoy en día los diseñadores tienen que considerar los siguientes requerimientos para establecer las decisiones de producto en una aplicación particular:

Densidad

- Total de Compuertas requeridas
- Tipo de compuertas
- Total de multivibradores requeridos
- Máximo de terminales tipo E/S requeridos
- Tipo de empaque
- RAM/ROM requerida en el dispositivo

Rendimiento

- Nivel de disparo
- Velocidad del sistema
- Retardo de compuerta
- Retardo en la intercomunicación entre compuertas
- Retardo en E/S
- Defasamiento del reloj
- Defasamiento por intercomunicación
- Reconfigurabilidad / No volatilidad
- Ruido



Consumo de Potencia

- Tipo de tecnología a usar (Bipolar / CMOS / BiCMOS), etc.
- Capacidad de Manejo. Fan-Out/ Fan-In.
- Consumo por Stand by / Consumo por operación
- Costo
- Costo por dispositivo
- Precio/Rendimiento
- Migración a ASIC
- Servicio Preprogramación
- Manejo de Inventario
- Solución en un dispositivo / X dispositivos
- Protección del diseño.

El Impacto Educativo

En la enseñanza de los sistemas digitales, los conceptos teóricos se mantendrán, pero su aplicación práctica deberá ser modificada, no tan solo por la aparición de nuevas herramientas para el diseño de circuitos digitales, sino por las diversas arquitecturas que los fabricantes ofrecen. Los criterios de redundancia, retardos y optimización de área útil del dispositivo son algunas de las consideraciones que más comúnmente deberán ser previstas.

Todo lo anterior se vuelve más comprometedor por los cambios drásticos en la tecnología de muy alta integración, que sumado con los retardos asociados en la integración de estos cambios en el proceso de enseñanza-aprendizaje pueden dejar en un plazo muy corto, aún más rezagada a la educación de la ingeniería electrónica en los países de América Latina.

Como se ha explicado, los cambios tecnológicos en el diseño de sistemas digitales han abierto una gran gama de posibilidades en tan solo 20 años y se preparan cambios

aun más profundos en un lapso no mayor a cinco años.

Las carreras de ingeniería tienen su razón de ser en los cimientos del desarrollo tecnológico de la industria instalada y las necesidades de esta. En particular, la ingeniería electrónica y la Ingeniería en ciencias computacionales son quienes preparan, en las diversas universidades e institutos, a los recursos humanos para que impacten de manera inmediata a la industria con estos avances tecnológicos.

Los cursos de sistemas digitales deben ser modificados a laboratorios de diseño con duración de hasta 8 semestres, donde los dos últimos tengan la finalidad de proyecto-tesis. Las especialidades de sistemas digitales, deberán alcanzar el objetivo de que los educandos tengan la capacidad de proyectar y construir soluciones de calidad industrial a bajo costo. La experiencia obtenida en el CINTEC, demuestra que la enseñanza de estas áreas sin la generación de prototipos de calidad industrial crea un vacío entre la teoría y la práctica imposible de llenar.

La disminución de la actividad industrial en áreas de la electrónica y la falta de reestructuración de planes y programas en esta área de la ingeniería, puede dar como consecuencia a corto plazo la desaparición de esta rama en la actividad industrial del país, con el consiguiente aumento en la dependencia tecnológica.

Bibliografía.

- [1] Stephen D. Brown, "*Field-Programmable Gate arrays*", Kluwer Academic Publisher, 1992.
- [2] Texas Instruments, "*FPGA's Applications Handbook*", 1994.
- [3] Pellerin, D. et al, "*Practical Design Using Programmable Logic*". Prentice Hall, 1991.
- [4] González, J. C. et al, "*Dispositivos Lógicos Programables*", Polibits, No. 11, Oct.-Dic. 1993.