

Diseño de Sistemas Digitales Utilizando FPGA

M. en C. Amadeo José Argüelles Cruz
 Profesor del CIC-IPN
Ing. José Angel Ascencio Roman,
Ing. José Felipe Villalobos Baigorria
 CIC-IPN

En la década de los ochenta se introdujo en el mercado una nueva tecnología para la implantación de sistemas digitales: los arreglos de compuertas programables en campo (FPGA, "Field Programmable Gate Array"). Estos dispositivos ofrecen varias ventajas con respecto a los componentes discretos de mediana y alta escala de integración (MSI/LSI) y de aplicación específica. Los FPGA son capaces de operar con lógica multinivel, mientras que dispositivos tales como los PLD se construyen específicamente para trabajar con lógica de dos niveles. Además, no precisan de fabricarse "a medida", lo que da como resultado una reducción tanto en los costos, cuando se genera un bajo volumen de partes, como en el tiempo de fabricación.

En este documento se exponen algunas de las características contenidas en la tecnología de esta clase de dispositivos y el proceso de diseño utilizado, así como algunas de las aplicaciones en las que actualmente se encuentran presentes.

TECNOLOGÍA DE FPGA

Esta es una clase de dispositivos prefabricados pero a diferencia de los PLD, que contienen lógica de dos niveles, presenta un diseño optimizado que permite el manejo de lógica multinivel. Esta característica permite diseñar circuitos más complejos que pueden contenerse en un solo dispositivo, aunque se tiene la desventaja de los retardos involucrados en el diseño, lo cual no se presenta en los PLD. Los FPGA proporcionan especificaciones especiales para su ajuste a determinado tipo de necesidades; tomando como base estas especificaciones y la manera en como pueden programarse, la figura 1 muestra una clasificación de estos dispositivos.

Con base en su forma de configuración, existen cuatro tipos de FPGA. En los dispositivos configurables, una vez que se programa el sistema digital que contendrán, no pueden realizarse cambios en la manera en que fueron dispuestas tanto la distribución de la lógica como de las conexiones internas.

Esta es la razón por la que a este tipo de FPGA se le da el nombre de programables una sola vez (OTP: "One Time Programming"). Los dispositivos reconfigurables pueden programarse varias veces, y se dividen en estáticos y dinámicos; en los primeros, una vez que se carga la configuración en uno o varios de los dispositivos que conforman al sistema, se ejecuta la tarea en cuestión, sin realizarse más cambios en el funcionamiento. Con los circuitos dinámicos el hardware subyacente puede cambiar en cualquier momento durante la ejecución de la operación u operaciones que se llevan a cabo. A su vez, los circuitos dinámicos se dividen en dispositivos completamente configurables, en los cuales el dispositivo se reconfigura completamente; y los circuitos parcialmente reconfigurables, en los que solo se cambia una parte del circuito.

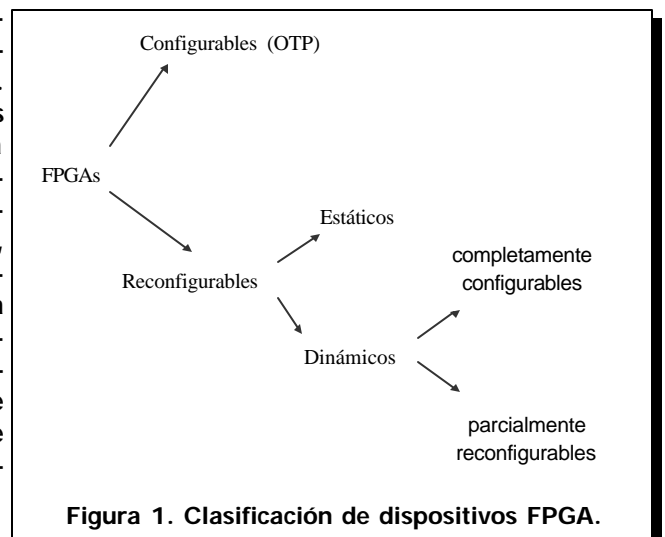


Figura 1. Clasificación de dispositivos FPGA.

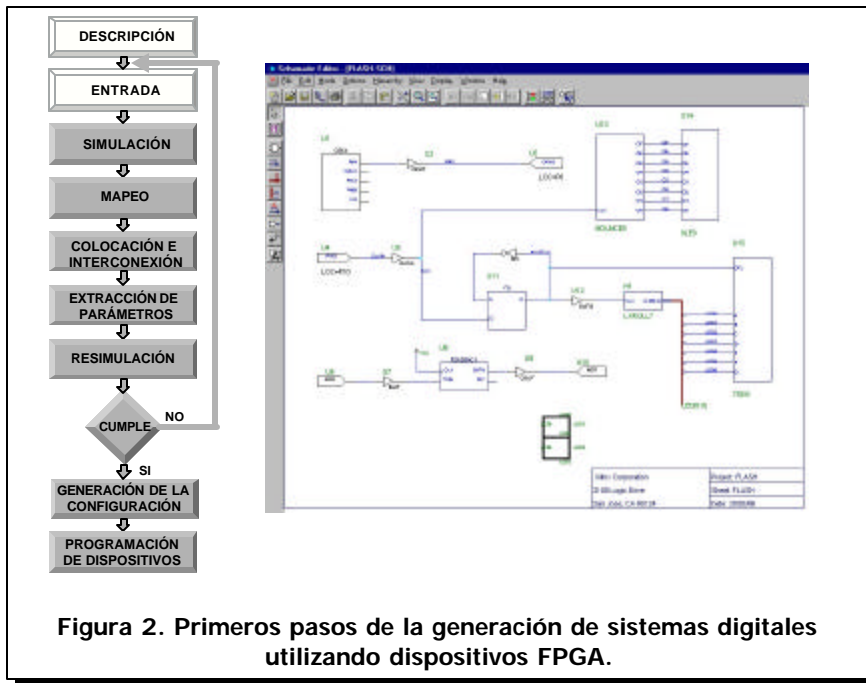


Figura 2. Primeros pasos de la generación de sistemas digitales utilizando dispositivos FPGA.

lidad, permitiendo al ingeniero explorar a fondo el diseño, con el objeto de incorporar cambios de ultimo minuto y sin incurrir en costos adicionales.

- Alta integración (alrededor de 2 millones de compuertas), lo cual reduce drásticamente el número de componentes en un diseño en comparación a su implantación con lógica MSI/LSI. Además, disminuye el consumo de energía, se obtienen costos de manufactura bajos, inventarios pequeños y un número reducido de defectos de manufactura y errores de diseño.

CICLO DE DISEÑO

El ciclo de diseño (ver figura 2) para el desarrollo de sistemas digitales con FPGA requiere de los siguientes pasos:

1. La introducción o descripción del diseño.
2. La simulación del diseño para verificar su funcionamiento.

Otra manera de identificar a un FPGA es con base en la complejidad de sus celdas elementales. Los circuitos con "granularidad fina" presentan celdas básicas cuyo contenido son las compuertas lógicas AND, OR y NOT. Otro tipo de circuitos presentan "granularidad gruesa", es decir, sus celdas básicas son más complejas, ya que pueden contener tablas de verdad, multiplexores y/o unidades aritmético-lógicas.

- Reducción en los tiempos de producción. Como ejemplo, el tiempo de manufactura aproximado de un dispositivo MPGA es del orden de 6 meses; con los FPGA, las partes pueden producirse después de solo unas cuantas horas de diseño. Esto proporciona un amplio grado de flexibi-

VENTAJAS

Algunas de las ventajas de trabajar con estos dispositivos se mencionan a continuación:

- Bajo costo, ya que la configuración y programación del dispositivo se soporta por el software de diseño. Como resultado, los cambios en el diseño y mejoras en los productos obtenidos pueden realizarse sin incurrir en gastos adicionales.

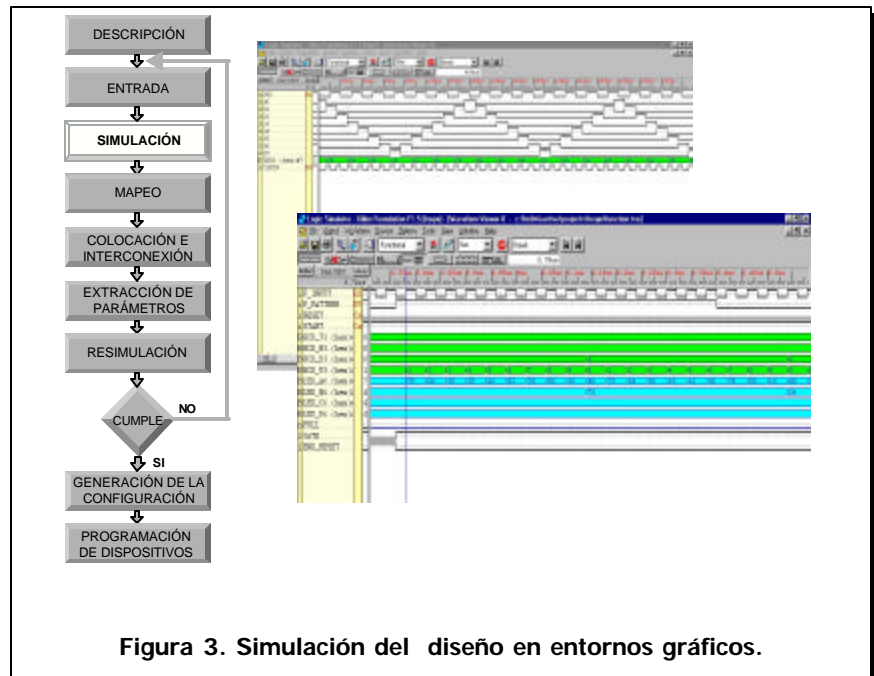


Figura 3. Simulación del diseño en entornos gráficos.

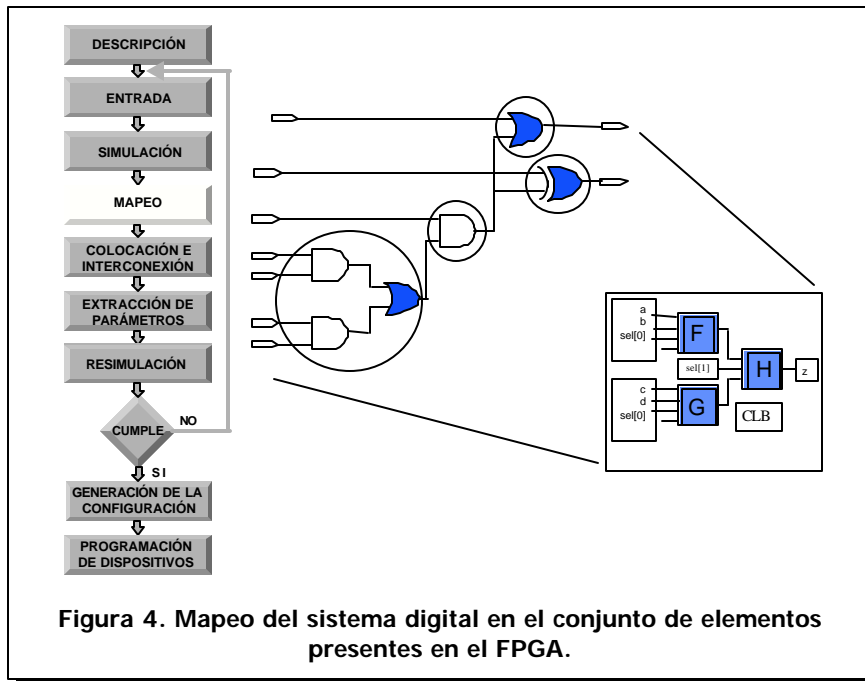


Figura 4. Mapeo del sistema digital en el conjunto de elementos presentes en el FPGA.

guajes de descripción de hardware, etc.

Cuando el diseño ha sido insertado en la herramienta de automatización, el siguiente paso consiste en la simulación del mismo (figura 3). Se puede observar si el diseño cumple con la funcionalidad deseada cuando se alimentan los vectores de prueba, mismos que servirán para modelar el comportamiento del sistema. Este paso puede omitirse para acelerar el proceso de obtención del producto final, pero esto puede ocasionar que el mismo no presente la calidad que se requiere, lo que redundará en un mayor costo si se involucra al diseño con dispositivos que se programan solo una vez, OTP.

3. El mapeo del diseño en la arquitectura del FPGA a utilizar.
4. La colocación e interconexión del diseño en el FPGA.
5. La extracción de parámetros, una vez que el diseño ha sido conectado.
6. Una nueva simulación para verificar los tiempos de propagación de las señales involucradas en el diseño.
7. La generación del formato de configuración del dispositivo FPGA.
8. La configuración o programación del dispositivo.
9. La prueba del producto para observar la existencia de algún funcionamiento no deseado.

zación del Diseño Electrónico) que los fabricantes de FPGA distribuyen junto con sus productos (figura 2). Con la utilización de estos programas, el diseñador puede describir de diferentes formas a los circuitos que intervienen en el sistema digital: utilizando esquemas, expresiones booleanas o lógicas, lista de conexiones y/o len-

En el paso 3, se realiza la reducción lógica y el mapeo del diseño con respecto a una tecnología determinada (figura 4). Esto implica que la descripción del diseño, que antes de esta etapa todavía se presenta de manera independiente a la tecnología, sea transferida a las entidades (celdas) básicas de la tecnología que contendrá al diseño.

En el paso número 1 se contempla la descripción e inserción del diseño con alguna de las herramientas de implantación del diseño (programas de software llamados EDA: "Electronic Design Automation", Automati-

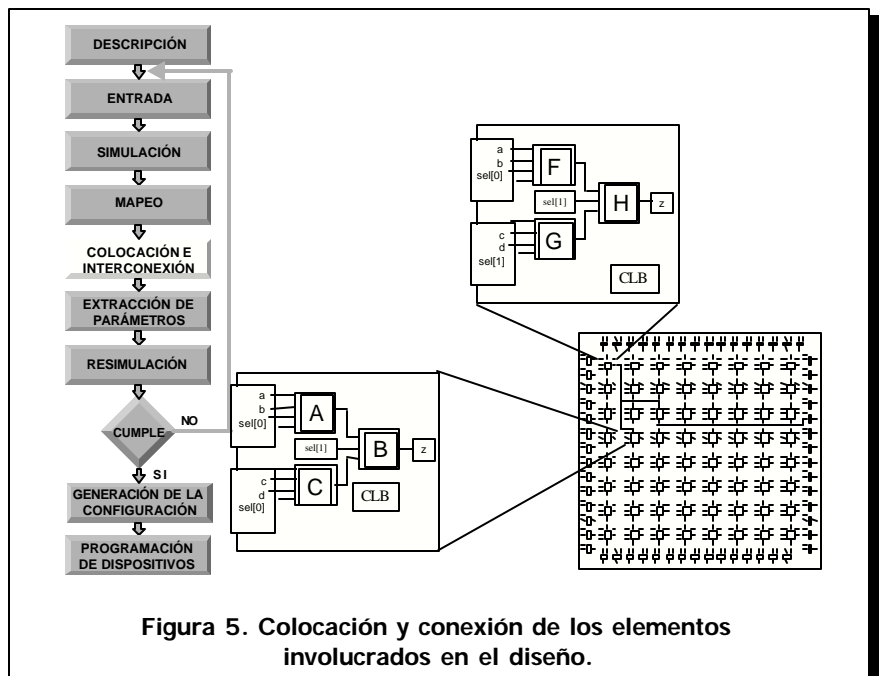


Figura 5. Colocación y conexión de los elementos involucrados en el diseño.

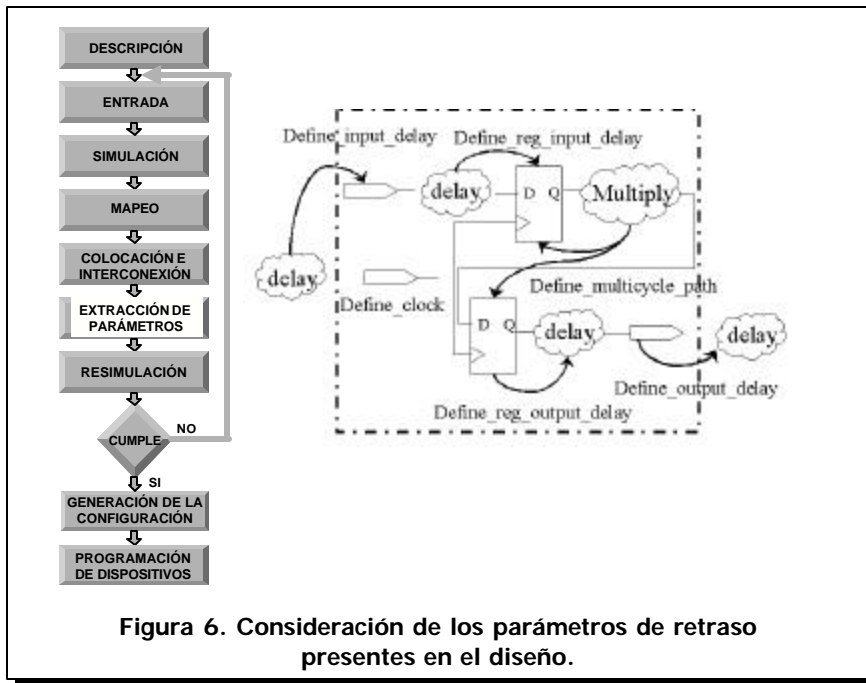


Figura 6. Consideración de los parámetros de retraso presentes en el diseño.

generación de los formatos de configuración del dispositivo o dispositivos indicados.

Concluido lo anterior, se procede a programar al dispositivo (figura 9), utilizando los archivos de configuración correspondientes.

Por último, se prueba el diseño para verificar su funcionamiento correcto.

APLICACIONES

El campo de aplicación de los dispositivos FPGA es muy amplio. Inicialmente se utilizaban en los sistemas digitales como lógica adicional (*glue logic*), pero a medida que los fabricantes fueron desarrollando nuevas características (mayor integración, menor costo, menor consumo de energía, etc.), su utilización fue cambiando a tal grado que en la actualidad han cobrado gran importancia en sectores tales como computación, periféricos, telecomunicaciones, redes,

En el paso 4 se posicionan las entidades, elementos o celdas, utilizadas en el mapeo, sobre un bloque físico específico presente en el dispositivo (figura 5). A continuación se realiza la conexión de los diferentes bloques, la cual se lleva a cabo en dos etapas: global y detallada.

A continuación se lleva a cabo la adquisición de los parámetros de retraso de las señales involucradas en el diseño (figura 6). Esto es, ya que se han colocado y conectado todos los elementos que forman parte del diseño, la herramienta para el mismo toma de la base de datos correspondiente al dispositivo utilizado, las características que el fabricante declara en sus hojas de especificaciones.

En la etapa 6 se procede a una nueva simulación del diseño (figura 7), utilizando los mismos vectores de prueba que sirvieron para llevar a cabo el paso 2. Esto permite la verificación de los tiempos de propagación de las señales involucradas en el diseño, pero en esta ocasión, a diferencia de la simulación realizada en el paso

2, se toman en consideración los retardos producidos por las rutas de conexión existentes.

Si el resultado de la etapa anterior cumple con las especificaciones de diseño, entonces se procede a ejecutar el paso 7 (figura 8), que es la

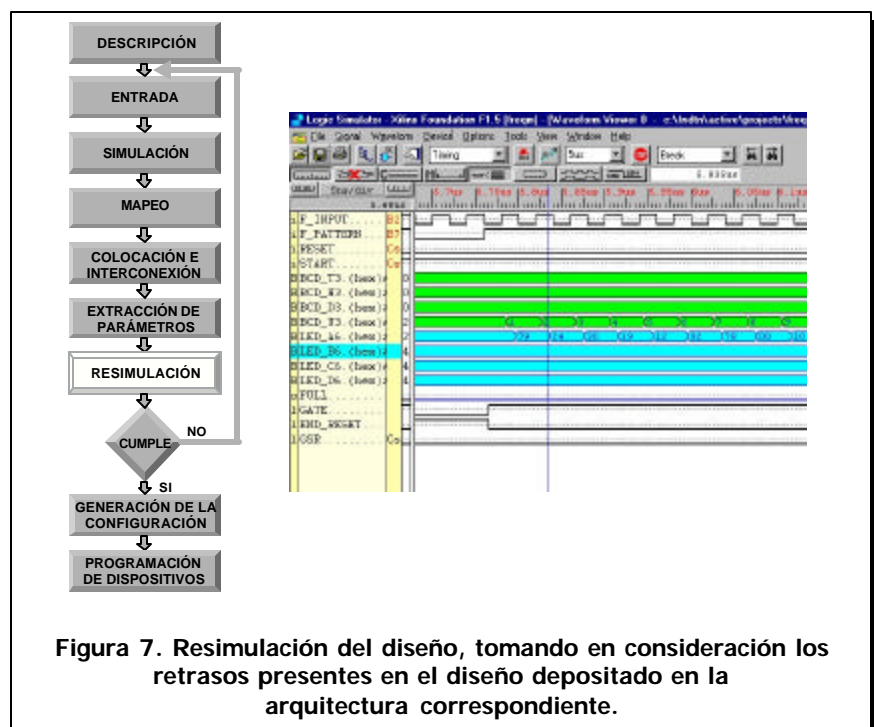


Figura 7. Resimulación del diseño, tomando en consideración los retardos presentes en el diseño depositado en la arquitectura correspondiente.

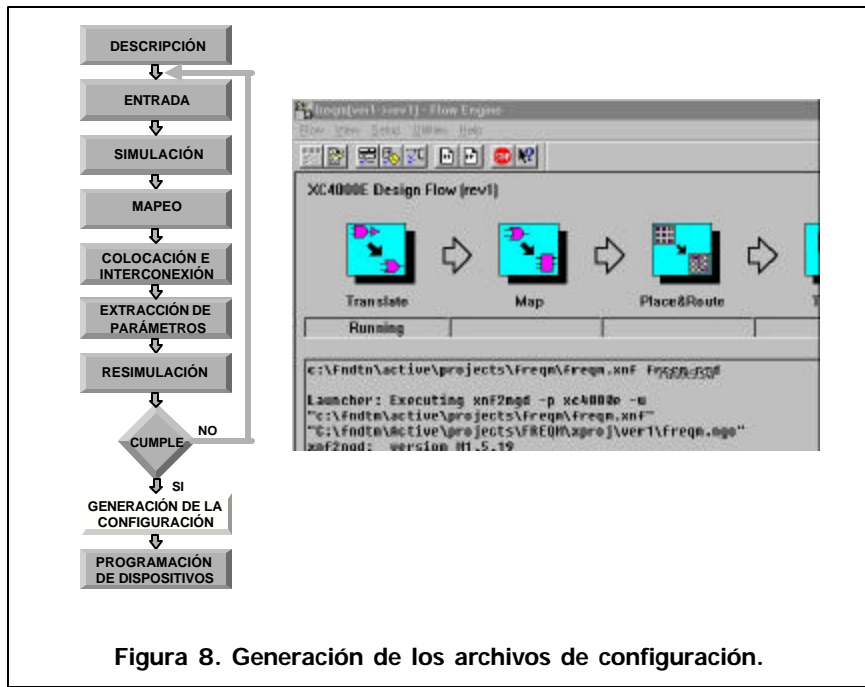


Figura 8. Generación de los archivos de configuración.

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece el apoyo de Anna Acevedo (Xilinx Corp.) y de Actel, por proporcionar información referente a la línea de dispositivos FPGA que fabrican; al Centro de Investigación en Computación (CIC), por el respaldo en las investigaciones realizadas en referencia a este tema y al Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico (CIDETEC) por continuar con su esfuerzo por diseminar los conocimientos científicos y técnicos a través de la revista Polibits. Estos dos últimos Centros forman parte del Instituto Politécnico Nacional.

control industrial, instrumentación, militar y electrónica de consumo, utilizando tan solo un dispositivo que contiene a todo el sistema digital (SOC: "System On a Chip").

En nuestro país, actualmente se desarrollan prototipos encaminados a la generación no solo de elementos de apoyo académico; en el Centro de Investigación en Computación (CIC) se generan proyectos de investigación que tienen que ver con el desarrollo de sistemas digitales, utilizando lógica basada en FPGA reconfigurables estáticos (figura 10).

CONCLUSIONES

Como se puede observar en el material presentado, los FPGA se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, involucrando todo tipo de sistemas de cómputo. La forma en como se desarrolla el diseño es bastante flexible y no se requiere de una inversión cuantiosa para poder realizar proyectos de baja y mediana esca-

la. Gracias al incremento en el número de compuertas y a la mejora en el rendimiento en los FPGA, existe un interés creciente en dirigir el diseño de sistemas digitales hacia una integración total.

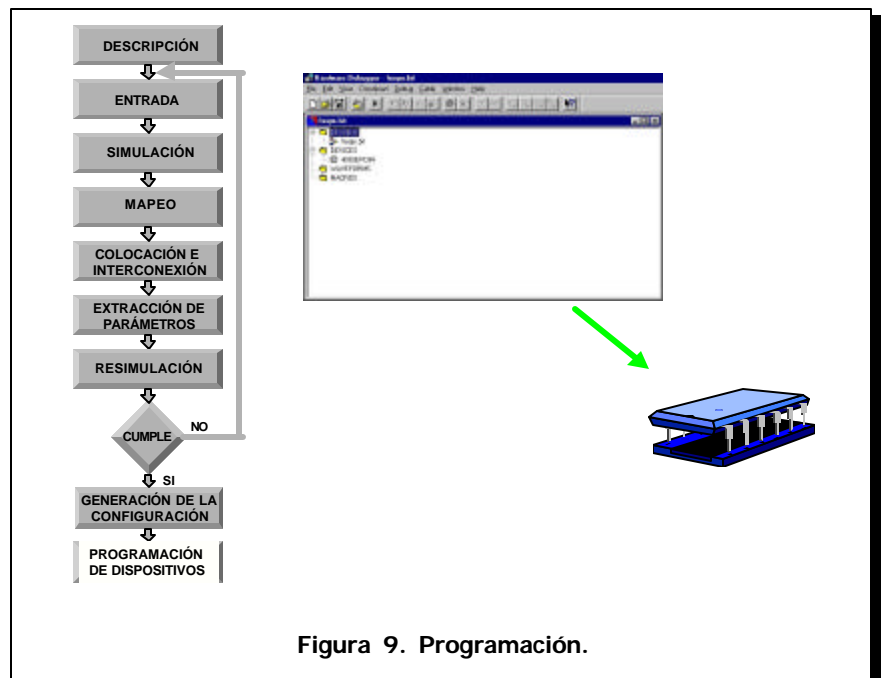


Figura 9. Programación.

BIBLIOGRAFÍA

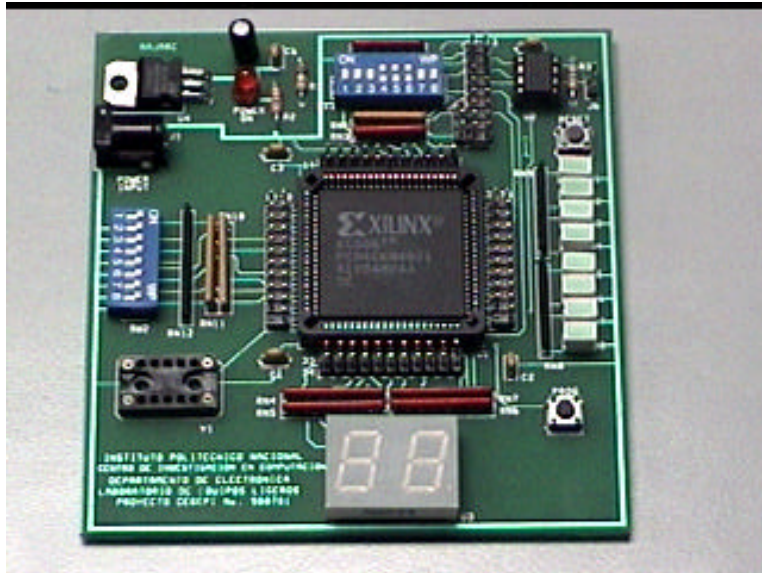


Figura 10. Prototipo para la generación de sistemas digitales empleando dispositivos FPGA XC4000 y Spartan del fabricante Xilinx.

- [1] Smith, M. J. S., *Application-Specific Integrated Circuits*. Addison-Wesley Longman, 1998.
- [2] Pierre Marchal, *Field-Programmable Gate Arrays*. Communications of the ACM Vol. 42, No. 4 April, 1999.
- [3] Xilinx, *The programmable Logic Data Book*, Xilinx, Inc. 1999.
- [4] Actel, *FPGA Databook and Design Guide*, Actel Corporation 1996.
- [5] Xilinx, *Xilinx University Program Workshop Labs*, Xilinx, Inc. 1998.