
Unidad 5. Lenguajes de descripción de hardware

Circuitos Electrónicos Digitales
E.T.S.I. Informática
Universidad de Sevilla

Jorge Juan Chico <jjchico@dte.us.es> 2010-2019

Esta obra esta sujeta a la Licencia Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> o envíe una carta Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Contenidos

- Lenguajes de descripción de hardware
- Tipos de descripciones
- Estructura de una descripción Verilog
- Verilog: sintaxis y estructuras principales
- Banco de pruebas y simulación
- Síntesis desde LDH en FPGA
- Herramientas de diseño básicas

Bibliografía

- Lecturas recomendadas:
 - Libro de LaMeres
 - 5.1, 5.2, 5.3: introducción a los lenguajes de descripción de hardware y al flujo de diseño digital moderno.
 - Curso Verilog basado en ejemplos [web]
 - Unidad 1: introducción
 - Unidad 2: bancos de prueba.
 - Unidad 3: circuitos combinacionales.
- Referencia (consultar en caso de dudas):
 - LaMeres 5.4 a 5.7: lenguaje Verilog, descripciones funcionales, estructurales y primitivas lógicas.
 - Verilog HDL Quick Reference Guide (Verilog-2001 standard)

¿Qué son los lenguajes de descripción de hardware (LDH)?

- Lenguajes formales para describir el comportamiento de un circuito electrónico (digital).
- Similar a un lenguaje de programación (software) pero con diferencias notables:
 - La mayoría de las expresiones se “ejecutan” concurrentemente.
 - Cada expresión o “instrucción” corresponde a la operación de un bloque de circuito.

```
// AND operation
x = a & b;

// OR operation
y = a | b;

// Combinational function  $z = xy' + x'y$ 
z = x & ~y | ~x & y;
```

¿Por qué son útiles los LDH?

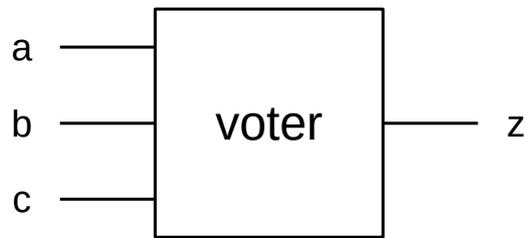
- Simulación
 - A partir de la descripción del circuito es posible simular su comportamiento mediante herramientas informáticas (simuladores) para comprobar su correcto funcionamiento antes de construir el circuito real.
- Síntesis automática
 - Construcción del circuito a partir de su descripción de forma automática empleando herramientas informáticas.
 - Equivalente a la compilación del software.
 - Permite simplificar el diseño digital
 - ¡Cuidado! El diseñador debe conocer lo que las herramientas pueden y no pueden hacer.

VHDL vs Verilog

- VHDL
 - Sintaxis más compleja, similar a ADA.
 - Sintaxis más estricta: reduce la posibilidad de errores.
 - Mejor soporte para diseños grandes y complejos.
- Verilog
 - Sintaxis más simple, similar a C.
 - Más fácil de aprender
 - Revisiones del lenguaje
 - Verilog
 - 1995, 2001, 2005
 - System Verilog
 - 2005, 2009, 2012, 2017

Tanto VHDL como Verilog están bien soportados por los fabricantes de hardware y pueden usarse indistintamente e incluso combinarlos en el mismo proyecto. La elección de uno u otro depende a menudo del gusto personal.

Ejemplo: votador



- Expresión lógica
 - $z = ab+ac+bc$
- Expresión en Verilog
 - $z = a\&b \mid a\&c \mid b\&c;$

a b c	z
0 0 0	0
0 0 1	0
0 1 0	0
0 1 1	1
1 0 0	0
1 0 1	1
1 1 0	1
1 1 1	1

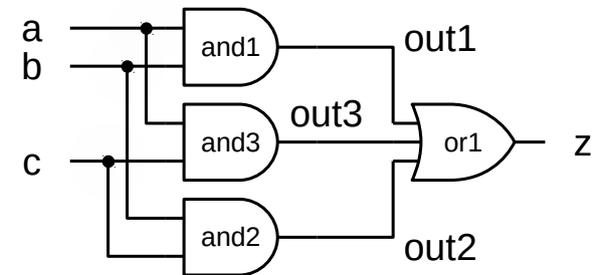
```
module voter(  
    output z,  
    input a,  
    input b,  
    input c  
);  
  
    assign z = a&b | a&c | b&c;  
  
endmodule
```

Tipos de descripciones

- Funcional (asignación continua)
 - Describe una función combinacional mediante una expresión lógica.
- Procedimental (bloques *always*)
 - Permite usar estructuras de control.
 - Descripción algorítmica similar al software.
 - Facilita la descripción de funciones complejas.
- Estructural
 - Describe la interconexión de módulos de circuito.
 - Equivalente al dibujo del circuito.
 - Verilog reconoce las puertas lógicas como módulos básicos.

```
assign z = a&b | a&c | b&c;
```

```
always @(a, b, c)
  if (a == 1)
    if (b == 1 || c == 1)
      z = 1;
    else
      z = 0;
  else
    if (b == 1 && c == 1)
      z = 1;
    else
      z = 0;
```



```
wire out1, out2, out3;

and and1 (out1, a, b);
and and2 (out2, b, c);
and and3 (out3, a, c);
or or1 (z, out1, out2, out3);
```

Estructura de una descripción Verilog

- Directivas del preprocesador
- Declaración del módulo
 - Nombre del módulo
 - Puertos (conexiones) de entrada y salida
- Declaración de señales
 - Nombre y tipo de señales internas
- Descripción del diseño
 - Estructuras de procesamiento
 - Pueden mezclarse tipos de descripción
- Cualquier número de módulos puede describirse en un único archivo
- Comentarios
 - `//, /* ... */`

```
`timescale 1ns / 1ps

// Module: cvoter
// Conditional voting circuit
// z = ab + bc + ac if x=1

module cvoter(
    input wire x,
    input wire a,
    input wire b,
    input wire c,
    output reg z
);

    wire v;

    assign v = a&b | b&c | a&c;

    always @(*)
        if (x == 1)
            z = v;
        else
            z = 0;

endmodule // cvoter
```

Sintaxis de Verilog

Verilog HDL Quick Reference Guide
by Stuart Sutherland

http://sutherland-hdl.com/pdfs/verilog_2001_ref_guide.pdf

Verilog: puertos y señales

- Tipos de señales básicos
 - **wire**: Representa una conexión permanente. Se usa para conectar módulos y con “assign”.
 - **reg**: Representa una variable que puede asignarse varias veces. Se usa en procedimientos (“always”).
- Para cada puerto de entrada o salida se crea automáticamente una señal interna con el mismo nombre
- Los tipos de las señales pueden declararse en la lista de puertos o en el cuerpo del módulo. Un puerto no declarado se considera de tipo “wire”

```
module voter(  
    input wire a,  
    input wire b,  
    input wire c,  
    output reg z  
);  
  
always @(a, b, c)  
    if (a == 1)  
        if (b == 1 || c == 1)  
            z = 1;  
        else  
            z = 0;  
    else  
        if (b == 1 && c == 1)  
            z = 1;  
        else  
            z = 0;  
  
endmodule // voter
```

Verilog: procedimientos

- Describen el comportamiento de un circuito mediante estructuras de control: comparaciones, toma de decisión, bucles, etc.
- Similar al software, pero representa algo distinto.
- Dentro de los procedimientos sólo se asignan variables (tipo reg)
- Tipos de procedimientos principales:
 - **initial**
 - Se evalúa una sola vez.
 - Útil principalmente en los bancos de pruebas de simulación.
 - **always**
 - Se evalúa constantemente
 - Lista de sensibilidad: permite controlar cuándo se evalúa un procedimiento: cuando cambia una señal, etc.

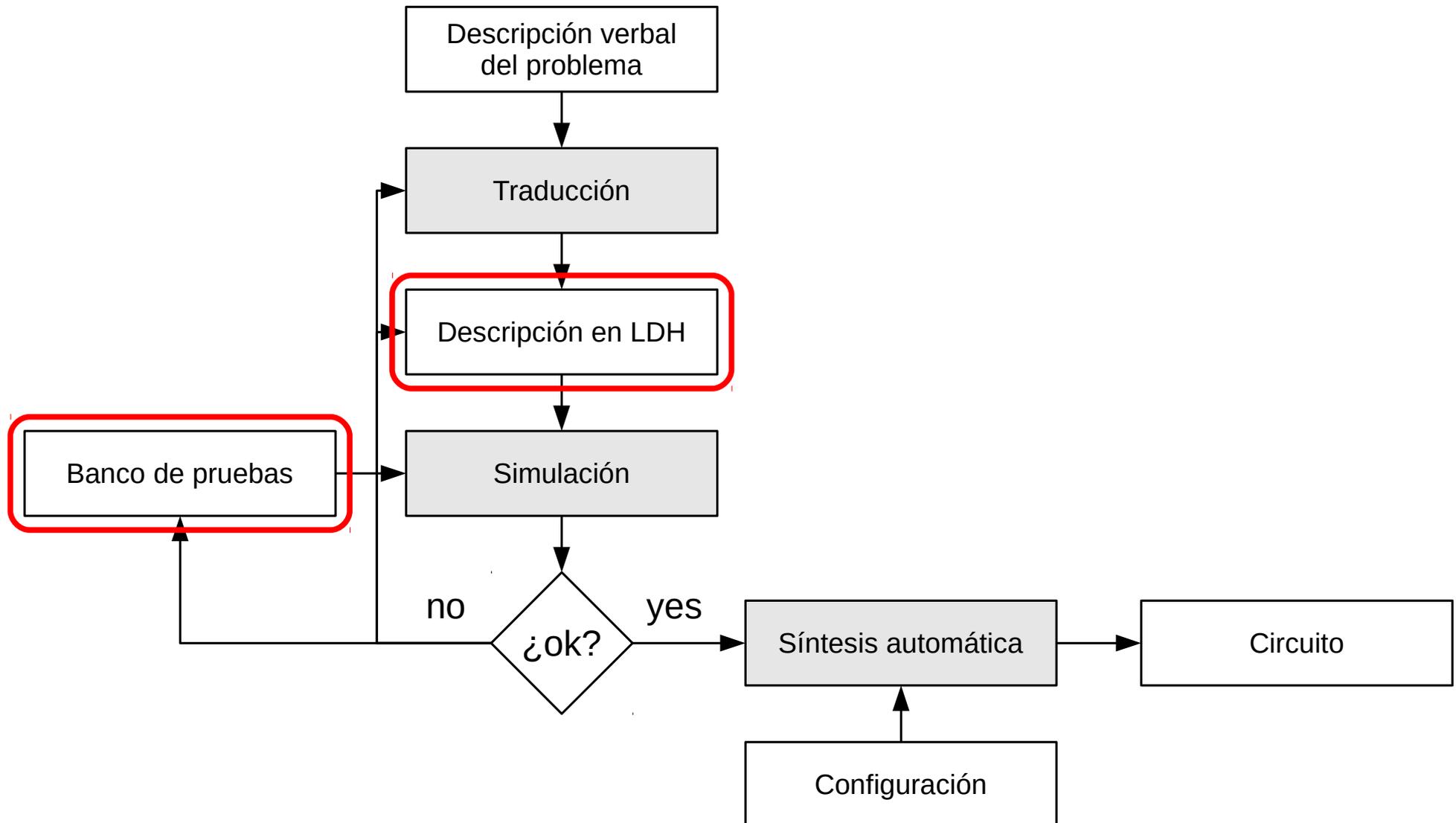
Verilog: concurrencia

- Las siguientes estructuras describen y se evalúan (en simulación) de forma concurrente:
 - Asignaciones continuas
 - Procedimientos
 - Módulos instanciados

Banco de pruebas y simulación

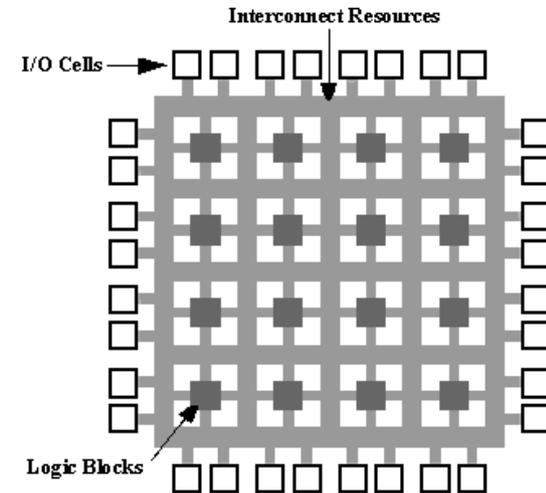
- Un banco de pruebas (testbench) es un módulo que contiene:
 - Un circuito (otro módulo) que va a ser simulado: Unit Under Test (UUT)
 - Sentencias Verilog que generan señales de entrada para la UUT y para comprobar el correcto funcionamiento de la misma.
 - Directivas del simulador Verilog para controlar opciones de simulación: resolución temporal, final de la simulación, generación de resultados, etc.
- Características específicas de módulos de bancos de pruebas
 - Un módulo de banco de pruebas no está pensado para ser implementado, sólo para ser simulado.
 - Incluye sentencias Verilog que sólo son útiles para simulación. Ej: “initial”.
 - Un módulo de banco de pruebas no tiene entradas ni salidas (externas).33

Proceso de diseño usando herramientas CAD (Computer-Aided Design)

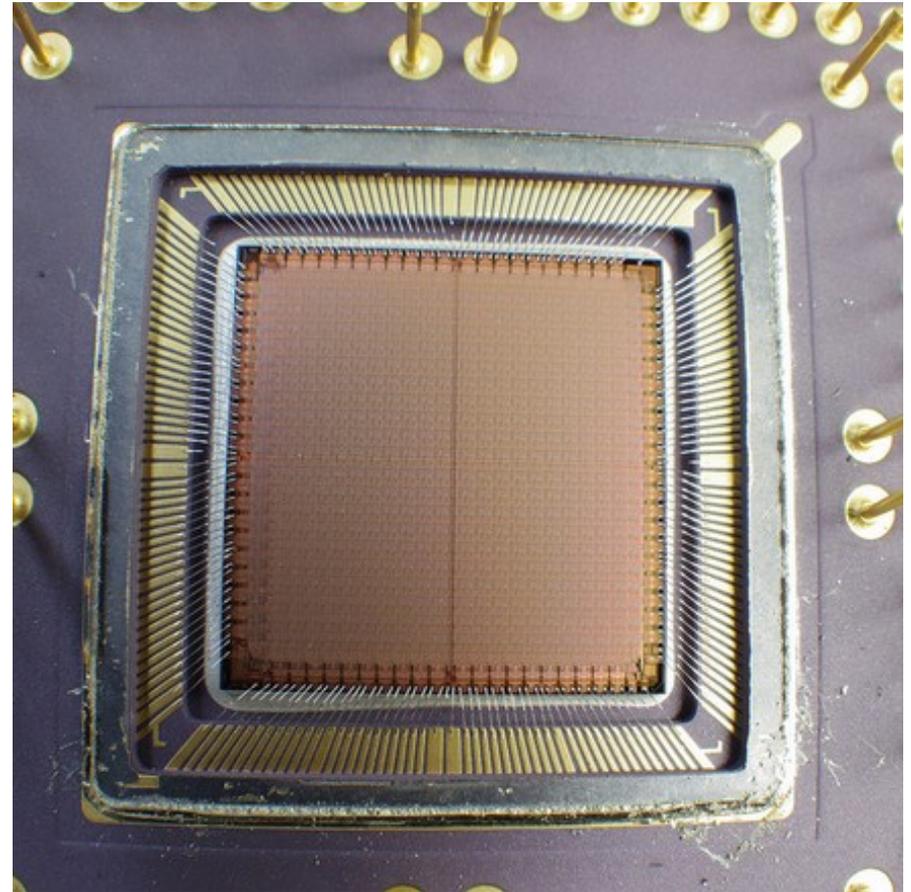
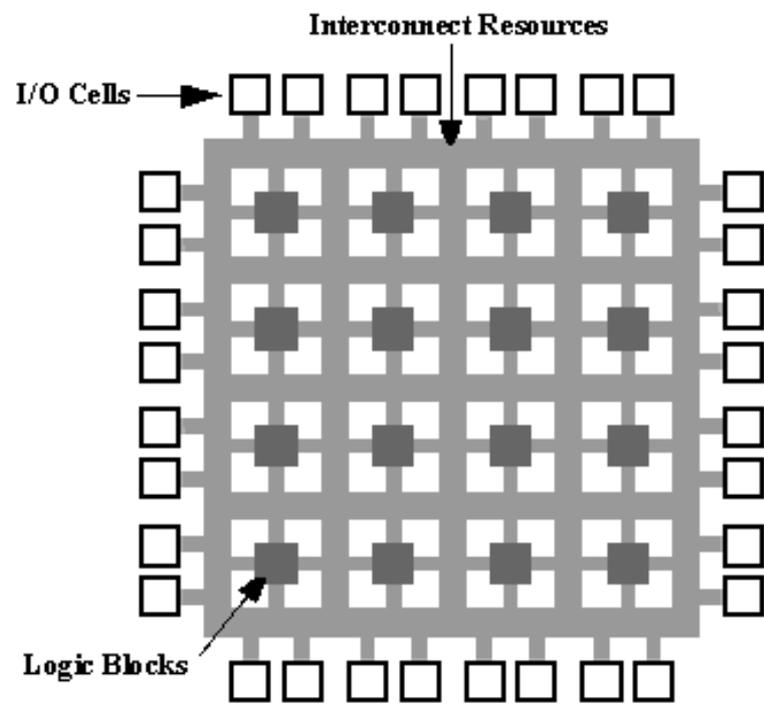


FPGA

- FPGA
 - Field Programmable Gate Array
 - Colección de dispositivos lógicos e interconexiones configurables.
- Configurable Logic Block (CLB)
 - Se configura para hacer una función determinada: AND, OR, XOR, etc.
- Input-Output Block (IOB)
 - Se configuran para actuar como entradas o salidas y conectar a señales internas
- Interconexiones
 - Se configuran para conectar los CLB a voluntad



FPGA



Síntesis en FPGA

- Síntesis de LDH sobre FPGA
 - El código LDH es analizado y las estructuras del lenguaje se convierten (mapping) en dispositivos lógicos equivalentes.
 - Se seleccionan los CLB adecuados (placement) y se configuran para hacer la función de los dispositivos lógicos necesarios.
 - Se programan las interconexiones para conectar los dispositivos (routing).
- Restricciones
 - Sólo se puede sintetizar un subconjunto de las estructuras disponibles en un LDH.
 - Cada fabricante de FPGA tiene sus propias restricciones.

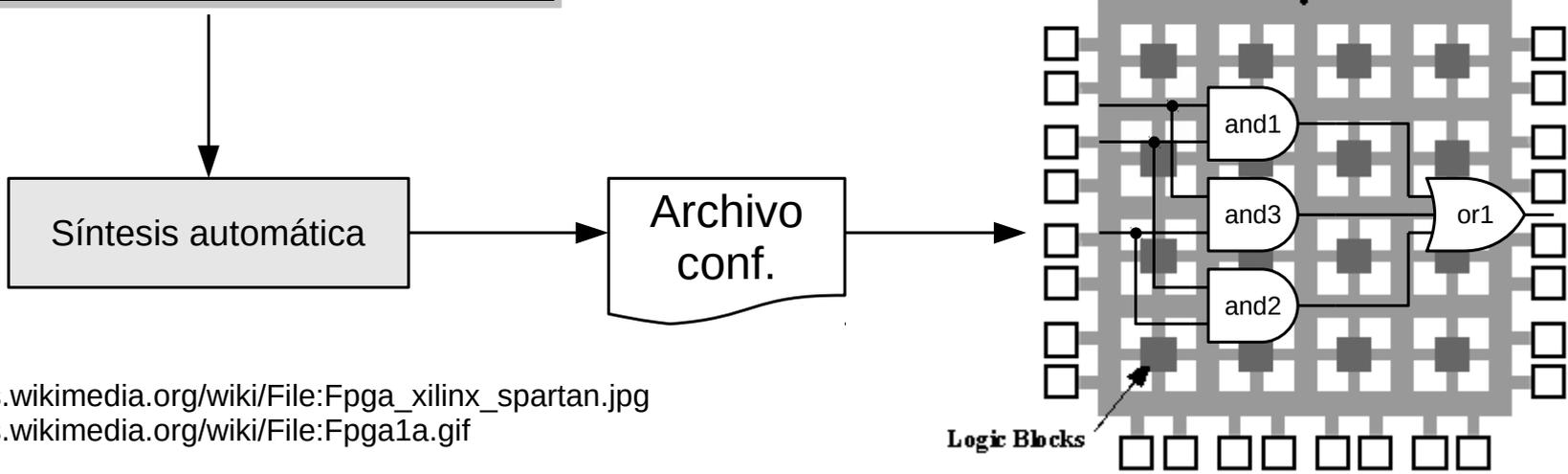
REGLA DE ORO

Si el diseñador no puede imaginar cómo va a ser el circuito generado, la herramienta tampoco puede.

Síntesis en FPGA

```
module voter(  
  input wire a, b, c,  
  output reg z);  
  always @(a, b, c)  
  if (a == 1)  
    if (b == 1 || c == 1)  
      z = 1;  
    else  
      z = 0;  
  else  
    if (b == 1 && c == 1)  
      z = 1;  
    else  
      z = 0;  
endmodule
```

400K
puertas
equivalentes

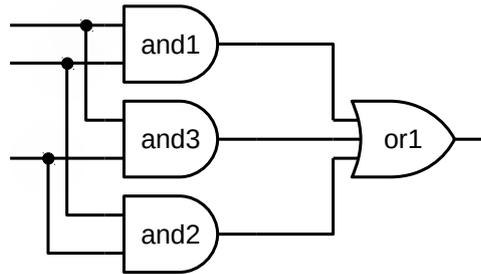


http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fpga_xilinx_spartan.jpg
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fpga1a.gif>

Síntesis sobre FPGA

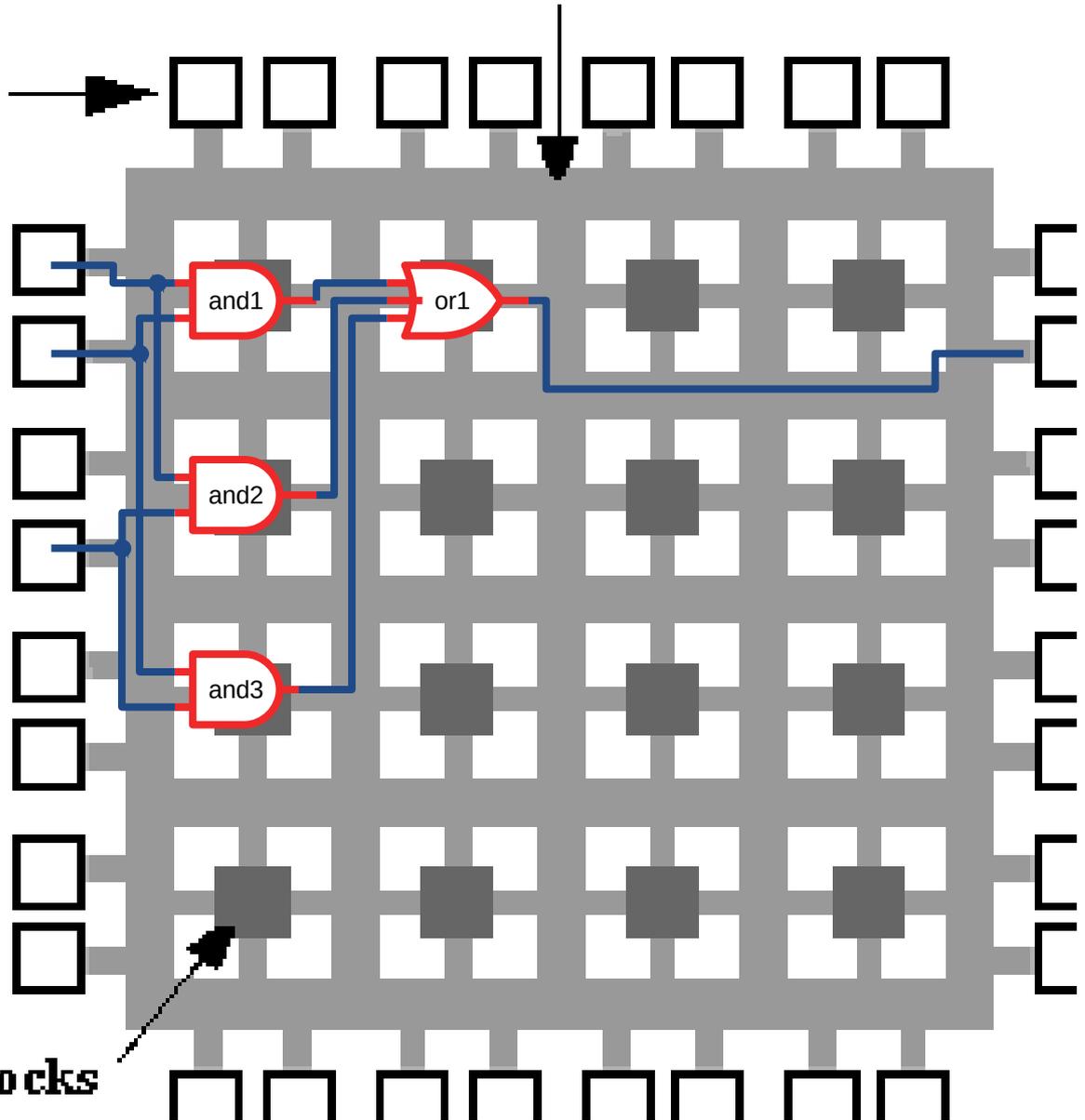
Interconnect Resources

I/O Cells



Colocación
(placement)

Enrutado
(routing)



Logic Blocks

Herramientas de diseño básicas

- Editor de texto
 - Escritura de código Verilog.
- Compilador de Verilog
 - Análisis del código. Detección de errores de sintaxis.
- Simulador
 - Simulación de bancos de pruebas.
- Herramienta de síntesis
 - Implementación del circuito en una determinada tecnología.
 - Depende del suministrador de la tecnología.
 - Ejemplo: FPGA
- Entorno integrado
 - Incluye todo lo anterior.
 - A veces suministrado por el propietario de la tecnología.
 - Existen entornos integrados en la WWW.

Icarus Verilog + Gtkwave

- Icarus
 - Compilador y simulador Verilog pequeño y simple
- Gtkwave
 - Visor de formas de onda: visualización de resultados de simulación.
- Ed. texto + Icarus + Gtkwave: entorno de desarrollo Verilog básico
 - Interfaz mediante línea de comandos
 - Ligero
 - icarus (1,5MB) + Gtkwave (2,5MB) = 4MB
 - Fácil de usar
 - Software libre

<http://iverilog.icarus.com/>

Icarus Verilog en GNU/Linux

- Icarus y Gtkwave disponibles en la mayoría de distribuciones Linux
- Instalación en Debian/Ubuntu:
 - Paquetes "iverilog" y "gtkwave"
- Editor de textos
 - Vale cualquier editor de texto plano.
 - Ej. Gedit
 - Estándar en Ubuntu
 - Incluye resaltado de sintaxis de Verilog.

```
$ sudo apt-get install iverilog gtkwave  
...
```

Icarus Verilog en MS-Windows(TM)

- Busca instalador iverilog + gtkwave en www.bleyer.org
 - Recomendado: instalar el software en una ruta sin espacios
 - Ejemplo: “c:\iverilog\”
- Abrir un terminal (cmd) y probar instalación:
 - Ejecutar “iverilog” en el terminal.
- Si no se encuentra el comando “iverilog” hay que añadir las rutas a los comandos manualmente. Buscar “agregar rutas a la variable path” para la versión de Windows adecuada. Añadir estas rutas:
 - c:\iverilog\bin
 - c:\iverilog\gtkwave\bin
- Editor de textos
 - Usar un buen editor de textos (no el Bloc de Notas -Notepad-)
 - Ej. Notepad++ (notepad-plus-plus.org), Atom, etc.

Icarus Verilog + Gtkwave sesión típica (Linux)

```
$ cd 02-1_votador1  
  
$ ls  
votador_tb.v  votador.v  
  
$ iverilog votador.v votador_tb.v  
  
$ vvp a.out  
VCD info: dumpfile votador_tb.vcd opened for output.  
  
$ ls  
a.out  votador_tb.v  votador_tb.vcd  votador.v  
  
$ gtkwave votador_tb.vcd &
```

Entornos integrados de Xilinx

- Xilinx
 - Uno de los principales fabricantes de FPGA.
- Dos entornos disponibles y parecidos
 - ISE: modelos de FPGA “antiguos”.
 - Vivado: nuevo entorno. Sólo para modelos FPGA recientes.
- Implementación sólo sobre FPGA's de Xilinx.
- Entorno integrado incluyendo gestor de proyectos, editor de código, simulación, síntesis y mucho más.
- Completo pero complejo (no mucho) para principiantes.
- Pesado de descargar (~5GiB) e instalar (>10GiB).
- Es necesario registrarse.
- Licencias gratuitas para uso académico con limitaciones.
- Versiones para MS-Windows(TM) y GNU/Linux.

Entorno en WWW: EDAPlayground

The screenshot displays the EDA Playground web interface. On the left, there is a sidebar with navigation options like 'Languages & Libraries', 'Tools & Simulators', and 'Examples'. The main area contains two code editors: 'testbench.sv' and 'design.sv'. The 'testbench.sv' editor shows Verilog testbench code for a voter circuit, including input stimuli and simulation control. The 'design.sv' editor shows the voter circuit module code. Below the code editors, there is a social sharing section with buttons for Log, Share, and Save, and a description of the voter circuit. At the bottom right, an EPWave window shows a timing diagram for signals a, b, c, and z, with a time scale from 0s to 80s.

- Permite hacer y simular diseños en Verilog (y otros lenguajes).
- Varios simuladores disponibles, incluyendo Icarus Verilog.
- Incluye editor de texto y visor de formas de onda.
- Requiere registro para simular y guardar diseños.

<https://www.edaplayground.com/>

Curso Verilog basado en ejemplos

- Ejemplos comentados de diseño en Verilog
- Incluye la descripción en Verilog de todos la mayoría de los conceptos tratados en la asignatura.
 - Circuitos combinacionales.
 - Circuitos secuenciales.
 - Máquinas de estados.
 - Memorias.
 - Aplicaciones prácticas.

[curso-verilog.v](#)

Resumen. LDH

- Descripción del comportamiento de circuitos digitales.
- Posibilidad de descripción desde varios puntos de vista: estructural, funcional, procedimental.
- Permite la simulación del sistema antes de su implementación (fabricación)
- Permite automatizar total o parcialmente el proceso de implementación usando herramientas informáticas.