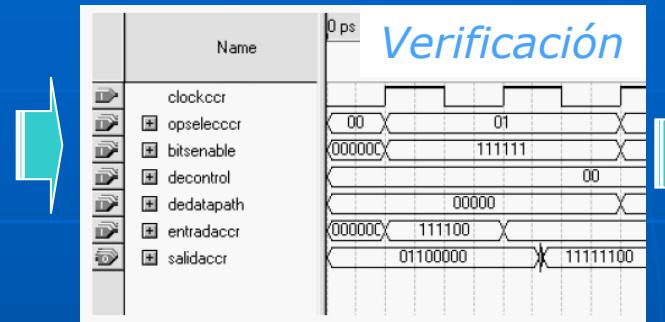




```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;

entity IR is
    Port ( entradair : in std_logic_vector(7 downto 0);
           salidair : out std_logic_vector(7 downto 0);
           escribirir : in std_logic;
           clockir : in std_logic);
end IR;
```

### Descripción



# Introducción al diseño lógico con VHDL

Sergio Noriega 2017

VHDL :

Very High Speed Integrated Circuits  
Hardware Description Language

Qué es?:

Herramienta formal para describir el comportamiento y la estructura de un sistema usando un lenguaje textual.

Qué permite?:

Describir las operaciones de un sistema empleando las siguientes posibilidades:

- Indicar QUE debe hacer el sistema modelando por “comportamiento” (behavior).
- Indicar COMO debe funcionar utilizando “algoritmos”.
- Indicar CON QUE hacerlo empleando “estructuras” ó “flujo de datos”.

# **Historia de VHDL**

VHDL fue diseñado originalmente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica como una forma de documentar las diversas especificaciones y el comportamiento de dispositivos ASIC de diversos fabricantes que incluían en sus equipos.

Con la posterior posibilidad de simular dichos dispositivos, comenzaron a crearse compiladores que pudieran llevar a cabo esta tarea leyendo los archivos VHDL.

El paso siguiente fue el de desarrollar software capaz de sintetizar las descripciones generadas y obtener una salida apta para su posterior implementación ya sea en ASIC como en dispositivos CPLD y FPGA.

## **Historia de VHDL (continuación)**

La gran masificación de **VHDL** permite que un mismo diseño sea portable, pudiendo utilizarlo no sólo en varios tipos de dispositivos PLD sino además de diferentes proveedores, donde con el mismo código **VHDL** se puede sintetizar un diseño para optimizar uno o mas parámetros críticos (área de silicio, velocidad de respuesta, consumo de energía, etc.).

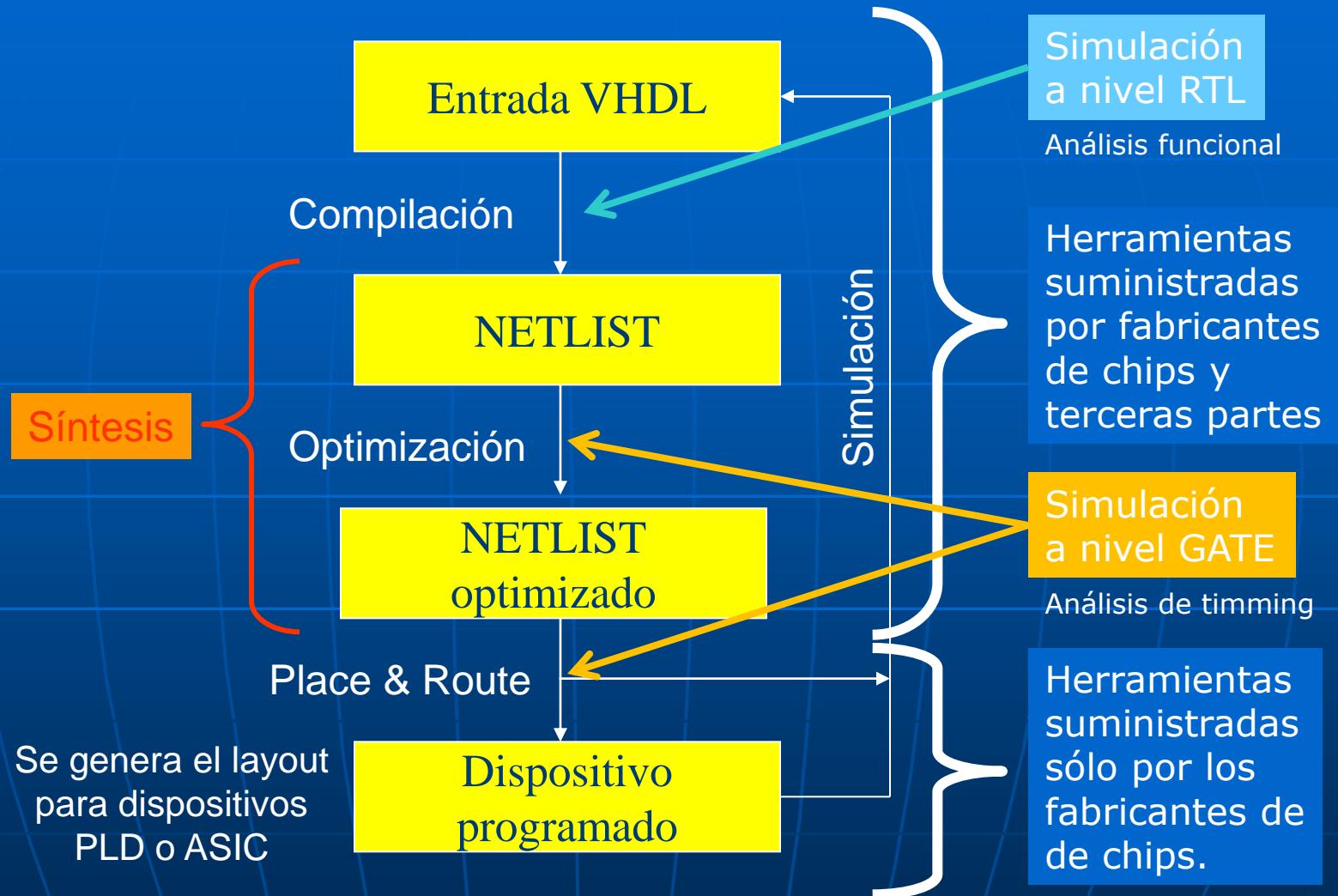
Desde su implementación en el año 1981, **VHDL** fue estandarizado por primera vez por la IEEE en 1987 (std. 1076) y se realizó un importante actualización en 1993 (con posteriores revisiones en 1994, 2000, 2002 y 2008).

Si bien su uso se aplica fundamentalmente para la descripción de sistemas digitales, en 1999 la IEEE aprobó el standard 1076.1 conocido como **VHDL-AMS** el cual incluye extensiones para entradas analógicas y mixtas.

## Características y Ventajas de VHDL

- Sirve como herramienta de diseño lógico, posibilitando la documentación de los proyectos y su reutilización.
- Sirve como herramienta de especificación de proyectos.
- Permite generar proyectos con estructura del tipo jerárquica.
- Posibilita modelizar el concepto de tiempo.
- Permite describir módulos con acciones que serán evaluadas luego en forma secuencial.
- Permite la parametrización de componentes y portabilidad de los diseños para independizarse de la tecnología.
- Permite implementación de test-bench para simulación de diseños.

# Diagrama de Flujo en el Diseño con VHDL



VHDL es un lenguaje portable y reusable ya que es independiente de la tecnología ó fabricante (Xilinx , Intel (ex-Altera), Microsemi (ex-Actel), QuickLogic, etc.).

Sus sentencias a diferencia de un programa de software se ejecutan inherentemente en forma “concurrente” salvo aquellas que se incluyan dentro de un Procedimiento (Procedure), Proceso (Process) ó Función (Function) donde se ejecutarán en forma secuencial.

## Software para diseño:

Existen varias herramientas EDA (Electronic Design Automation) para la síntesis, implementación y simulación de circuitos digitales.

Algunas las proveen los fabricantes de chips:

Quartus II de Altera (ahora INTEL FPGA),

ISE suite de Xilinx, etc.

Otras son de terceras partes por ejemplo los sintetizadores:

Leonardo Spectrum de Mentor Graphics,

Synplify de Synplicity,

ModelSim de Model Technology,

etc.

# TIPOS y SUBTIPOS en VHDL

Escalares: Por enumeración, enteros, de punto flotante y físicos.

Compuestos: Matrices y vectores. Ej: (is array .... of).

De acceso: punteros.

Archivos: Para manejo de Entrada-salida en archivos.

Ejemplo de tipos:

```
type word is array (0 to 31) of BIT;  
type byte is array (NATURAL range 7 downto 0) of BIT;  
type MVL4 is (`X', `0', `1', `Z');
```

Los subtipos son casos restringidos de TIPOS.

Ejemplo el subtipo “nibble” del tipo “byte”

(subtype nibble is byte (3 downto 0);.

## LITERALES

- Eneros.
- Punto flotante.
- Literales físicos (ejemplo ns).
- Bases (ejemplo 2#1011#, 8#17#, 16#9FD#).
- Caracteres ASCII (ejemplo `M`, `5`).
- Cadena de caracteres (ejemplo: "esto es un string").
- otros.

## CONSTANTES, VARIABLES y SEÑALES

- Constantes (ejemplo: CONSTANT retardo: tiem:=3ns;)
- Variables: Locales en un proceso. No salen del entorno de declaración en procesos ó subprogramas.  
Son ejecutadas secuencialmente.
- Señales: Se modifican mediante sentencias de asignación pero no se hace efectivo hasta que todos los procesos terminan. Son de uso global.

# OPERADORES EN VHDL

- Lógicos: AND, OR, NAND, NOR, XOR, XNOR, NOT para tipos BIT, BOOLEAN y arrays de ellos.
  - Relacionales: =, /=, <, <=, >, >= donde los operandos deben ser del mismo tipo y el resultado es BOOLEAN.
  - Shift: SLL, SRL, SLA, SRA, ROL, ROR donde el operando izquierdo debe ser BIT ó BOOLEAN y el derecho INTEGER.
  - Suma y resta: + y -.
  - MULT y DIV: \*, /, MOD y REM.
  - miscelaneos: exponenciación (\*\* ) y valor absoluto (ABS).
- Los comentarios comienzan con doble línea “- -”.
- Las sentencias terminan con “;”.

# IDENTIFICADORES

No hay longitud máxima.

No hay diferencia entre mayúsculas y minúsculas.

Deben empezar con carácter alfabético.

No pueden terminar con underline.

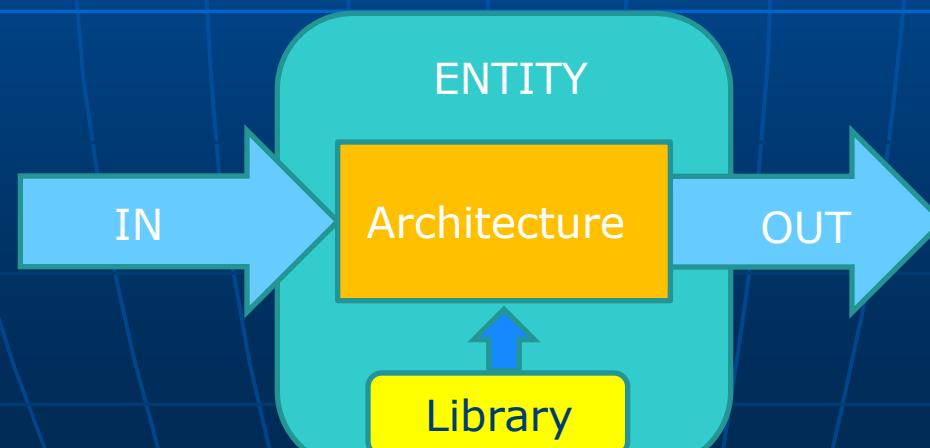
## Estructuras en VHDL:

**Entity:** Define la vista externa de un modelo.

**Architecture:** Define una posible funcionalidad de un modelo.

**Library:** Contiene un listado de todas las librerías utilizadas en el diseño.

**Package:** Es una forma para almacenar y usar información útil que describe a un modelo (relacionada con Library).



# PUERTOS EN VHDL

Los puertos de una entidad se declaran con la palabra PORT seguida de una lista formal de señales.

Cada señal ó grupo de señales de igual tipo se define con su “identificador”, su modo de operación (in, out, inout, buffer), y un eventual valor por default en caso de ser del tipo “in” ó “out”, que queden sin conectar.

Un puerto “in” puede ser leído pero no modificado.

Un puerto “out” puede ser modificado pero no leído.

Un puerto “buffer” es una salida siempre activa.

Un puerto “inout” se asocia a una compuerta bidireccional (por ejemplo con TRISTATE).

## Entidad (Entity)

Una entidad VHDL especifica el nombre de la entidad , sus puertos y toda aquella información relacionada con ella.

Ejemplo:

```
ENTITY mux IS
    PORT ( a, b, c, d : IN BIT;
            s0, s1 : IN BIT;
            z : OUT BIT);
END mux;
```

En este ejemplo **Entity** describe la interface con el mundo externo de un multiplexor, el número, tipos puertos empleados y dirección de los mismos (entrada ó salida).

NADA sobre COMO funciona o QUE hace se ha especificado aún.

# Arquitectura (Architecture)

CASO SINTETIZABLE

La arquitectura en VHDL describe la funcionalidad de la entidad y contiene la información que modela el comportamiento de la misma. En este caso permite la síntesis.

```
ENTITY mux IS
    PORT ( a, b, c, d : IN BIT;
            s0, s1 : IN BIT;
            z : OUT BIT);
END mux;
```

```
ARCHITECTURE dataflow of mux IS
    SIGNAL select : INTEGER;
BEGIN
    select <= 0 WHEN s0 = '0' AND s1 = '0' ELSE
        1 WHEN s0 = '1' AND s1 = '0' ELSE
        2 WHEN s0 = '0' AND s1 = '1' ELSE
        3 ;
    z <=
        a WHEN select = 0 ELSE
        b WHEN select = 1 ELSE
        c WHEN select = 2 ELSE
        d ;
END dataflow;
```

Aquí especificamos  
QUE HACE el hardware  
existiendo diferentes  
maneras para hacerlo

ESTA FORMA DE DESCRIPCIÓN  
SE USA FUNDAMENTALMENTE  
EN SINTESIS DE HARDWARE.

# Arquitectura (Architecture)

CASO **NO** SINTETIZABLE

La arquitectura en VHDL describe la funcionalidad de la entidad y contiene la información que modela el comportamiento de la misma. En este caso sólo sirve para verificación.

```
ENTITY mux IS
    PORT ( a, b, c, d : IN BIT;
            s0, s1 : IN BIT;
            z : OUT BIT);
END mux;
```

```
ARCHITECTURE dataflow of mux IS
    SIGNAL select : INTEGER;
```

```
BEGIN
    select <= 0 WHEN s0 = '0' AND s1 = '0' ELSE
                1 WHEN s0 = '1' AND s1 = '0' ELSE
                2 WHEN s0 = '0' AND s1 = '1' ELSE
                3 ;
```

```
z <=
    a AFTER 0.5 NS
    b AFTER 0.5 NS
    c AFTER 0.5 NS
    d AFTER 0.5 NS;
```

```
WHEN select = 0 ELSE
WHEN select = 1 ELSE
WHEN select = 2 ELSE
```

```
END dataflow,
```

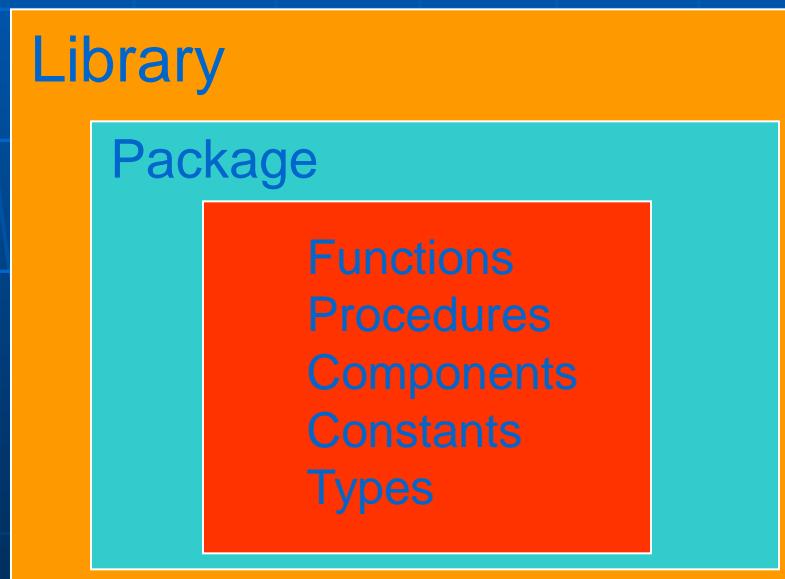
**IMPORTANTE:**  
ESTE EJEMPLO ES ANALOGO  
AL ANTERIOR EXCEPTO QUE  
SE HACE REFERENCIA  
TEMPORAL EN LA  
ACTUALIZACIÓN DE LAS  
SEÑALES.  
ESTA MANERA DE  
DESCRIPCIÓN SE USA  
FUNDAMENTALMENTE  
EN SIMULACIÓN Y NO PUEDE  
SER SINTETIZABLE YA QUE  
LOS RETARDOS LOS DEFINE  
EL TIPO DE CHIP A EMPLEAR.

Una librería es una colección de piezas de código usualmente empleadas. Esto permite poder reusar esas piezas ó compartirlas con otros diseños.

Sintáxis:

```
LIBRARY <nombre de la librería>;  
USE <nombre de un package>;
```

Ejemplo: LIBRARY ieee;  
USE ieee.std\_logic\_1164;



El código es escrito en forma de Funciones (Functions), Procesos (Process), Procedimientos (Procedures) ó Componentes (Components) y luego ubicados dentro de Paquetes (Packages) para ser compilados dentro de la Librería destino.

## Librerías mas comunes del paquete VHDL actualizado en 1993:

### **LIBRARY ieee;**

```
USE ieee.std_logic_1164.all;  
USE ieee.std_logic_arith.all;  
USE ieee.std_logic_signed.all;  
USE ieee.std_logic_unsigned.all;
```

### **LIBRARY std;**

Librería que no requiere ser declarada en un diseño.

Contiene declaraciones de tipos de datos y funciones de entrada-salida de texto entre otros.

```
USE std.standard.all;  
USE std.textio.all;
```

Standard: donde se definen los tipos lógicos y numéricos básicos

TEXTIO: Define tipos para la creación de texto y procedimientos para el ingreso e impresión de textos.

### **LIBRARY work;**

```
USE work.all;
```

Librería que no requiere ser declarada en un diseño.

Es donde se salvan todos los archivos relacionados con el diseño en curso (creados por el compilador, simulador, etc.).

**USE ieee.std\_logic\_1164:**

Especifica el STD\_LOGIC (8 niveles) y el STD\_ULOGIC (9 niveles) para sistemas lógicos multinivel.

De todos estos niveles sólo 3 son sintetizables sin restricciones; el resto sirven para simulación.

**USE ieee.std\_logic\_arith:**

Especifica tipos de datos con y sin signo, operaciones aritméticas y de comparación numérica y funciones para conversión de datos.

**USE ieee.std\_logic\_signed:**

Permite operaciones con signo con datos tipo STD\_LOGIC\_VECTOR.

**USE ieee.std\_logic\_unsigned:**

Permite operaciones sin signo con datos tipo STD\_LOGIC\_VECTOR.

# Librería en VHDL: Contenido del archivo std\_logic\_arith.vhd

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.ALL;

package std_logic_arith is

type UNSIGNED is array (NATURAL range <>) of STD_LOGIC;
type SIGNED is array (NATURAL range <>) of STD_LOGIC;
subtype SMALL_INT is INTEGER range 0 to 1;

function "+"(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "+"(L: SIGNED; R: SIGNED) return SIGNED;
function "+"(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return SIGNED;
function "+"(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return SIGNED;
function "+"(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return UNSIGNED;
function "+"(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "+"(L: SIGNED; R: INTEGER) return SIGNED;
function "+"(L: INTEGER; R: SIGNED) return SIGNED;
function "+"(L: UNSIGNED; R: STD_ULOGIC) return UNSIGNED;
function "+"(L: STD_ULOGIC; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "+"(L: SIGNED; R: STD_ULOGIC) return SIGNED;
function "+"(L: STD_ULOGIC; R: SIGNED) return SIGNED;

function "+"(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: SIGNED; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: SIGNED; R: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: UNSIGNED; R: STD_ULOGIC) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: STD_ULOGIC; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: SIGNED; R: STD_ULOGIC) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "+"(L: STD_ULOGIC; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;

function "-"(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "-"(L: SIGNED; R: SIGNED) return SIGNED;
function "-"(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return SIGNED;
function "-"(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return SIGNED;
function "-"(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return UNSIGNED;
function "-"(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "-"(L: SIGNED; R: INTEGER) return SIGNED;
function "-"(L: INTEGER; R: SIGNED) return SIGNED;
function "-"(L: UNSIGNED; R: STD_ULOGIC) return UNSIGNED;
function "-"(L: STD_ULOGIC; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "-"(L: SIGNED; R: STD_ULOGIC) return SIGNED;
function "-"(L: STD_ULOGIC; R: SIGNED) return SIGNED;

function "-"(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: SIGNED; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: SIGNED; R: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: UNSIGNED; R: STD_ULOGIC) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: STD_ULOGIC; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: SIGNED; R: STD_ULOGIC) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "-"(L: STD_ULOGIC; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;

function "*"*(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "*"*(L: SIGNED; R: SIGNED) return SIGNED;
function "*"*(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return SIGNED;
function "*"*(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return SIGNED;
function "*"*(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return UNSIGNED;
function "*"*(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "*"*(L: SIGNED; R: INTEGER) return SIGNED;
function "*"*(L: INTEGER; R: SIGNED) return SIGNED;
function "*"*(L: UNSIGNED; R: STD_ULOGIC) return UNSIGNED;
function "*"*(L: STD_ULOGIC; R: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function "*"*(L: SIGNED; R: STD_ULOGIC) return SIGNED;
function "*"*(L: STD_ULOGIC; R: SIGNED) return SIGNED;

function "*"*(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: SIGNED; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: SIGNED; R: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: INTEGER; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: UNSIGNED; R: STD_ULOGIC) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: STD_ULOGIC; R: UNSIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: SIGNED; R: STD_ULOGIC) return STD_LOGIC_VECTOR;
function "*"*(L: STD_ULOGIC; R: SIGNED) return STD_LOGIC_VECTOR;

function "<"(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "<"(L: SIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "<"(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "<"(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "<"(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "<"(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "<"(L: SIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "<"(L: INTEGER; R: SIGNED) return BOOLEAN;
```

# Librería en VHDL: Contenido del archivo std\_logic\_arith.vhd (continuación)

```
function "<="(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "<="(L: SIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "<="(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "<="(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "<="(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "<="(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "<="(L: SIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "<="(L: INTEGER; R: SIGNED) return BOOLEAN;

function ">"(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function ">"(L: SIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function ">"(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function ">"(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function ">"(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function ">"(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function ">"(L: SIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function ">"(L: INTEGER; R: SIGNED) return BOOLEAN;

function ">="(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function ">="(L: SIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function ">="(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function ">="(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function ">="(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function ">="(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function ">="(L: SIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function ">="(L: INTEGER; R: SIGNED) return BOOLEAN;

function "=="(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "=="(L: SIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "=="(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "=="(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "=="(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "=="(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "=="(L: SIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "=="(L: INTEGER; R: SIGNED) return BOOLEAN;

function "/="(L: UNSIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "/="(L: SIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "/="(L: UNSIGNED; R: SIGNED) return BOOLEAN;
function "/="(L: SIGNED; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "/="(L: UNSIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "/="(L: INTEGER; R: UNSIGNED) return BOOLEAN;
function "/="(L: SIGNED; R: INTEGER) return BOOLEAN;
function "/="(L: INTEGER; R: SIGNED) return BOOLEAN;
```

]

```
function SHL(ARG: UNSIGNED; COUNT: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function SHL(ARG: SIGNED; COUNT: UNSIGNED) return SIGNED;
function SHR(ARG: UNSIGNED; COUNT: UNSIGNED) return UNSIGNED;
function SHR(ARG: SIGNED; COUNT: UNSIGNED) return SIGNED;

function CONV_INTEGER(ARG: INTEGER) return INTEGER;
function CONV_INTEGER(ARG: UNSIGNED) return INTEGER;
function CONV_INTEGER(ARG: SIGNED) return INTEGER;
function CONV_INTEGER(ARG: STD_ULOGIC) return INTEGER;

function CONV_UNSIGNED(ARG: INTEGER; SIZE: INTEGER) return UNSIGNED;
function CONV_UNSIGNED(ARG: UNSIGNED; SIZE: INTEGER) return UNSIGNED;
function CONV_UNSIGNED(ARG: SIGNED; SIZE: INTEGER) return UNSIGNED;
function CONV_UNSIGNED(ARG: STD_ULOGIC; SIZE: INTEGER) return UNSIGNED;

function CONV_SIGNED(ARG: INTEGER; SIZE: INTEGER) return SIGNED;
function CONV_SIGNED(ARG: UNSIGNED; SIZE: INTEGER) return SIGNED;
function CONV_SIGNED(ARG: SIGNED; SIZE: INTEGER) return SIGNED;
function CONV_SIGNED(ARG: STD_ULOGIC; SIZE: INTEGER) return SIGNED;

function CONV_STD_LOGIC_VECTOR(ARG: INTEGER; SIZE: INTEGER)
    return STD_LOGIC_VECTOR;
function CONV_STD_LOGIC_VECTOR(ARG: UNSIGNED; SIZE: INTEGER)
    return STD_LOGIC_VECTOR;
function CONV_STD_LOGIC_VECTOR(ARG: SIGNED; SIZE: INTEGER)
    return STD_LOGIC_VECTOR;
function CONV_STD_LOGIC_VECTOR(ARG: STD_ULOGIC; SIZE: INTEGER)
    return STD_LOGIC_VECTOR;
```

---

-- attributes for conversion functions

---

```
attribute Synth_Conversion_Function of CONV_INTEGER: function is "INTEGER";
attribute Synth_Conversion_Function of CONV_UNSIGNED: function is "UNSIGNED";
attribute Synth_Conversion_Function of CONV_SIGNED: function is "SIGNED";
attribute Synth_Conversion_Function of CONV_STD_LOGIC_VECTOR: function is "STD_LOGIC_VECTOR";
```

---

```
-- zero extend STD_LOGIC_VECTOR (ARG) to SIZE,
-- SIZE < 0 is same as SIZE = 0
-- returns STD_LOGIC_VECTOR(SIZE-1 downto 0)
function EXT(ARG: STD_LOGIC_VECTOR; SIZE: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;

-- sign extend STD_LOGIC_VECTOR (ARG) to SIZE,
-- SIZE < 0 is same as SIZE = 0
-- return STD_LOGIC_VECTOR(SIZE-1 downto 0)
function SXT(ARG: STD_LOGIC_VECTOR; SIZE: INTEGER) return STD_LOGIC_VECTOR;
```

---

```
end std_logic_arith;
```

## STD\_ULOGIC

Generalmente utilizado para simulación.  
Posee 9 niveles diferentes de valores.

'U': No inicializado. Esta señal no ha sido definida todavía.

'X': Desconocido. Imposible de determinar su valor o resultado.

'0': Nivel lógico 0.

'1': Nivel lógico 1.

'Z': Alta Impedancia.

'W': Señal Débil, no puede definirse como = o 1.

'L': Señal Débil que debería ir a 0.

'H': Señal Débil que debería ir a 1.

'-': Don't care.

## STD\_LOGIC

Generalmente utilizado para síntesis y simulación.  
Posee 3 niveles diferentes de valores.

'0': Nivel lógico 0.

'1': Nivel lógico 1.

'Z': Alta Impedancia.

# Tipos de descripciones en VHDL

En HDL se describen en general sucesos inherentemente concurrentes pues en la arquitectura de una entidad (entre BEGIN y END) se definen sentencias concurrentes.

Sin embargo en VHDL aparece la noción de PROCESOS (Process), que si bien describen eventos que se producen como cualquier sentencia concurrente, son analizados internamente en forma secuencial para su síntesis y/o simulación.

Es por eso que se encuentran sentencias de asignación propias de acciones concurrentes y otras exclusivas para procesos secuenciales.

Ejemplos:

**Concurrentes:** Declaración de señales.

                  Sentencias WHEN..ELSE, PROCESS, etc.

**Secuenciales:** Declaración de variables.

                  Sentencias IF..THEN..ELSE, CASE, LOOP, etc.

**Ambas:** Asignación a señales, declaración de tipos y constantes, sentencia ASSERT, retardos (AFTER), etc.

# Tipos de descripciones en VHDL

CONCURRENTES	SECUENCIALES	CONCURRENTES Y SECUENCIALES
Declaración de señales. Sentencia WHEN ...ELSE. Sentencia WITH ...SELECT. Sentencia PROCESS. Sentencia BLOCK.	Declaración de variables Asignación a variables. Sentencia IF THEN ELSE Sentencia CASE. Sentencia FOR ... LOOP. Sentencia RETURN. Sentencia NULL. Sentencia WAIT.	Asignación de señales. Declaración de Tipos y Ctes. Declaración de atributos de señales. Invocación a Funciones y Procedimientos. Sentencia ASSERT. Sentencia AFTER.

## SEÑALES VERSUS VARIABLES

### SEÑALES

Las señales representan vínculos físicos entre procesos concurrentes.

Se pueden declarar en:

Packages: al describir componentes.

Entity: al describir los puertos de una entidad.

Architecture: al definir líneas internas.

Cuando una señal es del tipo INTEGER es importante definir su rango, sino el compilador asignará 32 bits por default.

En el caso de inferirse registros se generará gran cantidad de recursos innecesarios.

Las señales tienen vigencia en toda la descripción del circuito.

Sirven de nexo para comunicación entre componentes.

Se actualizan dentro de un 'Process' al final.

### VARIABLES

Las variables sólo tienen vigencia dentro del proceso donde están declaradas.

Proveen un mecanismo conveniente para almacenamiento local de información.

Se actualizan dentro de un 'Process' inmediatamente al invocarlas.

Utiles cuando se quiere escribir un código serializado

(Ver ejemplo de diseño de sumador ripple-carry con  
FOR-LOOP ó FOR GENERATE)

## SEÑALES

Cuando una señal es del tipo **INTEGER** es importante definir su rango, sino el compilador asignará **32 bits** por default.

The image shows two windows from the Quartus II software. The left window displays the VHDL code for entity ent1.vhd. The right window shows the 'Flow Summary' report after compilation.

**VHDL Code (ent1.vhd):**

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity ent1 is
    port
        (
            a1, b1 : in integer;
            d1, e1 : out integer
        );
end entity;

architecture maldef of ent1 is
    SIGNAL a,b,c,d,e: integer := 0;
BEGIN
    PROCESS (a,b,c)
    BEGIN
        c <= a;
        d <= c + 12;
        c <= b;
        e <= c + 12;
    END PROCESS;

    a <= a1;
    b <= b1;
    d1 <= d;
    e1 <= e;
END maldef;
```

**Compilation Report (Flow Summary):**

Category	Value	Notes
Flow Status	Successful - Tue Feb 28 11:19:00 2017	
Quartus II 64-Bit Version	10.1 Build 153 11/29/2010 SJ Web Edition	
Revision Name	ent1	
Top-level Entity Name	ent1	
Family	Cyclone IV GX	
Total logic elements	30 / 29,440 (< 1 %)	
Total combinational functions	30 / 29,440 (< 1 %)	
Dedicated logic registers	0 / 29,440 (0 %)	
Total registers	0	
Total pins	128 / 307 (42 %)	Red arrow points here
Total virtual pins	0	
Total memory bits	0 / 1,105,920 (0 %)	
Embedded Multiplier 9-bit elements	0 / 160 (0 %)	
Total GXB Receiver Channel PCS	0 / 4 (0 %)	
Total GXB Receiver Channel PMA	0 / 4 (0 %)	
Total GXB Transmitter Channel PCS	0 / 4 (0 %)	
Total GXB Transmitter Channel PMA	0 / 4 (0 %)	
Total PLLs	0 / 6 (0 %)	
Device	EP4CGX30CF23C6	
Timing Models	Preliminary	

Dos entradas (a1 y b1) y dos salidas (d1 y e1) especificadas como ENTEROS.  
El compilador salvo alguna inicialización, las define como de 32 bits cada una ( $128\text{pines} / 32 = 4\text{ ports}$ ).

Una Solución es definir PORTS como arreglos de bits BIT\_VECTOR ó STD\_LOGIC\_VECTOR).

# TIPOS DE DISEÑO EN VHDL

## ESTRUCTURAL:

En forma similar a las herramientas de diseño que trabajan con lenguajes de NETLIST, VHDL puede ser utilizado para diseñar ó simular un sistema digital, especificando por un lado sus componentes y por el otro sus interconexiones.

## POR COMPORTAMIENTO (ó FUNCIONAL):

VHDL puede ser usado para diseñar un sistema digital, describiendo el comportamiento del mismo a través de dos formas diferentes: “algorítmica” y por “flujo de datos”. Esta modalidad es muy utilizada en procesos de simulación ya que permite simular un sistema sin necesidad de conocer su estructura interna.

# DISEÑO ESTRUCTURAL

Es una forma de diseñar instanciando subcomponentes que realizan operaciones mas pequeñas del modelo completo.

Ejemplo:

Diseño del mismo mux 4:1 pero con una descripción “estructural” de la arquitectura que ahora denominaremos “netlist”.

La misma está formada por compuertas de tres tipos diferentes (andgate, inverter y orgate) interconectadas convenientemente. Cada tipo de compuerta está especificado como un COMPONENTE diferente.

“andgate” es de 3 puertos de entrada y uno de salida.

“orgate” es de 4 puertos de entrada y uno de salida.

“inverter” es de un puerto de entrada y uno de salida.

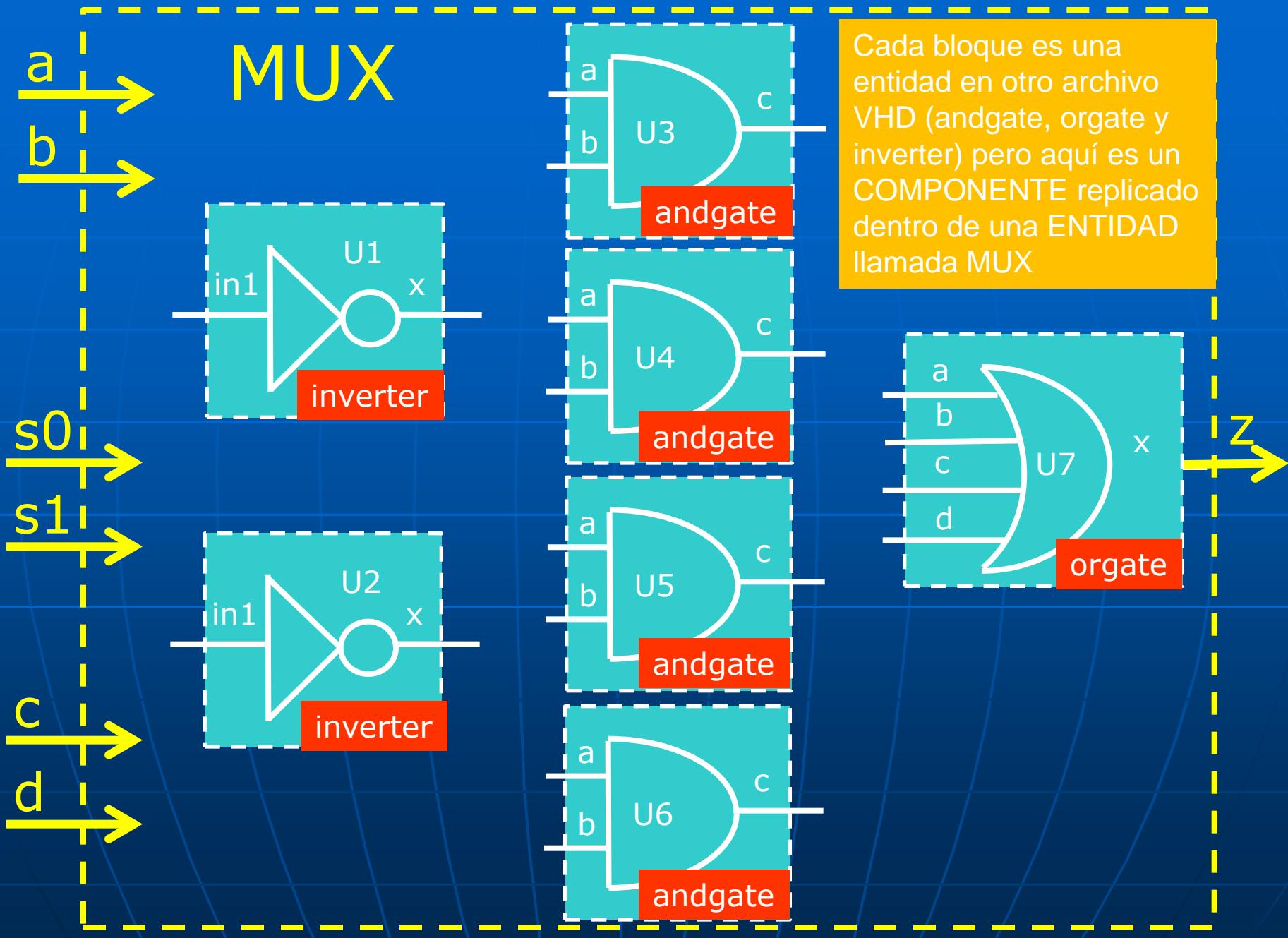
La forma de describir que hace cada compuertas está en la sección: BEGIN ..... END de la estructura “netlist”;

# EJEMPLO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

```
ARCHITECTURE netlist OF mux IS
    COMPONENT andgate
        PORT(a, b, c: IN BIT; x : OUT BIT);
    END COMPONENT;
    COMPONENT inverter
        PORT(in1 : IN BIT; x : OUT BIT);
    END COMPONENT;
    COMPONENT orgate
        PORT(a, b, c, d : IN BIT; x : OUT BIT);
    END COMPONENT;

    SIGNAL s0_inv, s1_inv, x1, x2, x3, x4 : BIT;

BEGIN
    U1 : inverter (s0, s0_inv);
    U2 : inverter (s1, s1_inv);
    U3 : andgate(a, s0_inv, s1_inv, x1);
    U4 : andgate(b, s0, s1_inv, x2);
    U5 : andgate(c, s0_inv, s1, x3);
    U6 : andgate(d, s0, s1, x4);
    U7 : orgate(x2 => b, x1 => a, x4 => d, x3 => c, x => z);
END netlist;
```



# DISEÑO POR FLUJO DE DATOS

Ejemplo de compuerta AND de 2 entradas

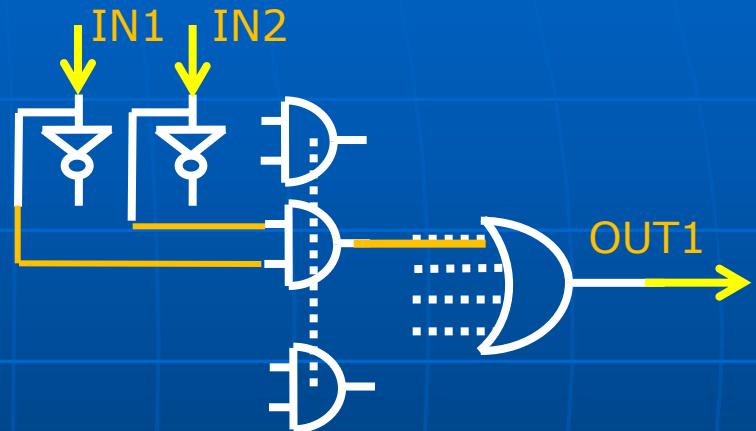
## and2.vhd - Text Editor

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

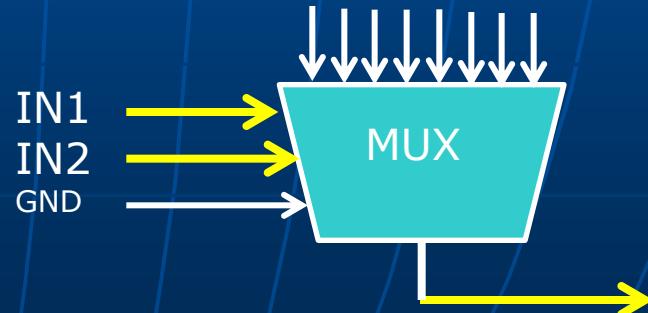
-- Sección de ENTITY
entity and2 is
    port (
        IN1 : in std_logic;
        IN2 : in std_logic;
        OUT1: out std_logic);
end and2;

--Sección de ARCHITECTURE
architecture RTL of and2 is
begin
    OUT1 <= IN1 and IN2;
end RTL;
```

La síntesis en una EPLD será algo así:



La síntesis en una FPGA será algo así:



# DISEÑO ALGORÍTMICO

Otra forma de describir la funcionalidad de un dispositivo es la de hacerlo algorítmicamente dentro de una sentencia “PROCESS”. La sentencia **PROCESS** consta de una serie de partes:  
La primera es la lista de sensibilidad.  
La segunda la declarativa  
La tercera es la de statement. Comienza en “BEGIN”....

Ejemplo:

Diseño del mismo multiplexor “mux” en una arquitectura ahora denominada “secuencial” donde la misma contiene sólo una sentencia “PROCESS....END PROCESS”.

(a, b, c, d, s0, s1) es la lista de sensibilidad.

“sel” es una variable local que se declara (similar a NODE en AHDL).

La ejecución de la sentencia PROCESS comienza en “BEGIN” y termina en “END PROCESS”.

En esta sección se han utilizado las funciones “IF” y “CASE” para describir el comportamiento del multiplexor.

## Process (.....lista de sensitividad....)

Se activa cada vez que cambia el estado de una de las entradas descriptas en la "lista de sensitividad".

Al variar cualquiera de ellas, se Ejecuta todo su contenido y termina, a la espera de un próximo cambio en el estado de las señales «sensitivas».

Si no hay lista de sensitividad debe ponerse una sentencia WAIT para que no se ejecute indefinidamente.

Las declaraciones de TIPOS, FUNCIONES, PROCEDIMIENTOS y VARIABLES son locales al Proceso.

Las funciones admitidas son IF, CASE y FOR ... LOOP.

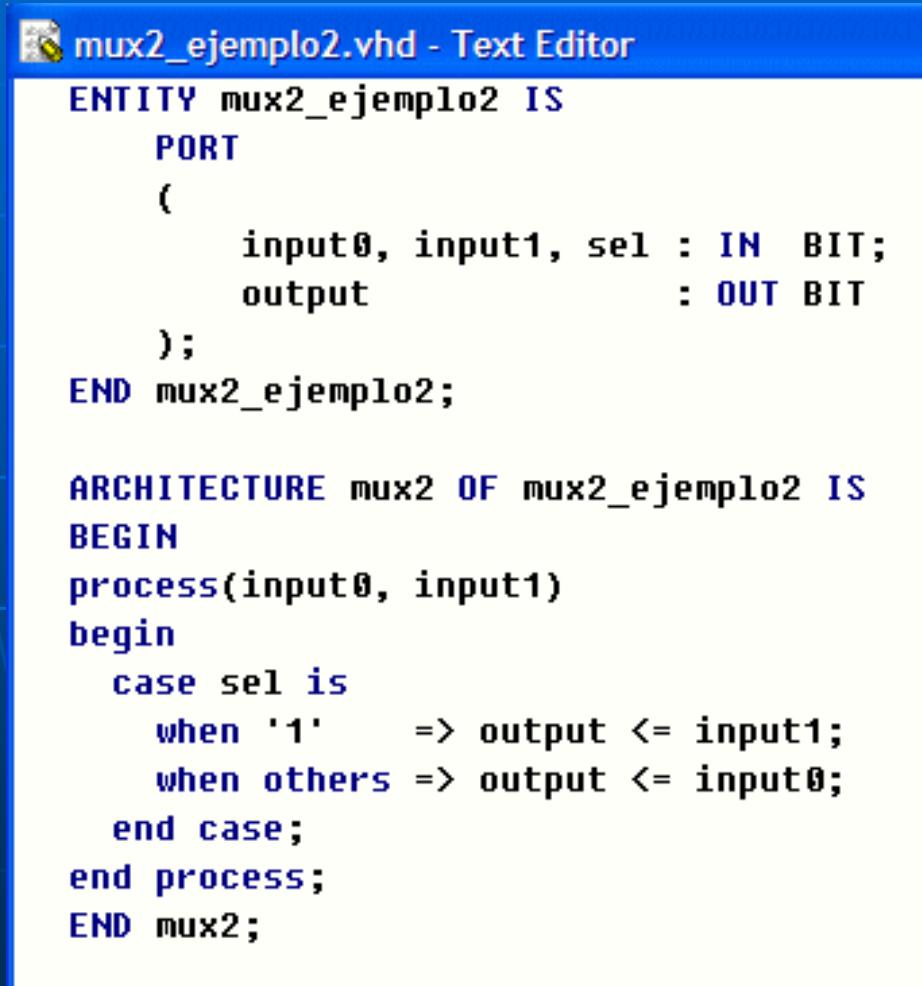
Puede describir circuitos «COMBINATORIOS» como «SECUENCIALES».

Las SEÑALES son la interface entre el dominio concurrente y el secuencial dentro de un proceso. Mientras un proceso está ejecutándose, las señales permanecen inalterables (como si fueran constantes).

Las VARIABLES en cambio, pueden modificarse dentro de un Process cuando está corriendo.

# DISEÑO ALGORITMICO

Ejemplo multiplexor 2:1 con sentencia CASE



The screenshot shows a text editor window titled "mux2\_ejemplo2.vhd - Text Editor". The code is written in VHDL and defines a 2:1 multiplexer (MUX) entity and its architecture.

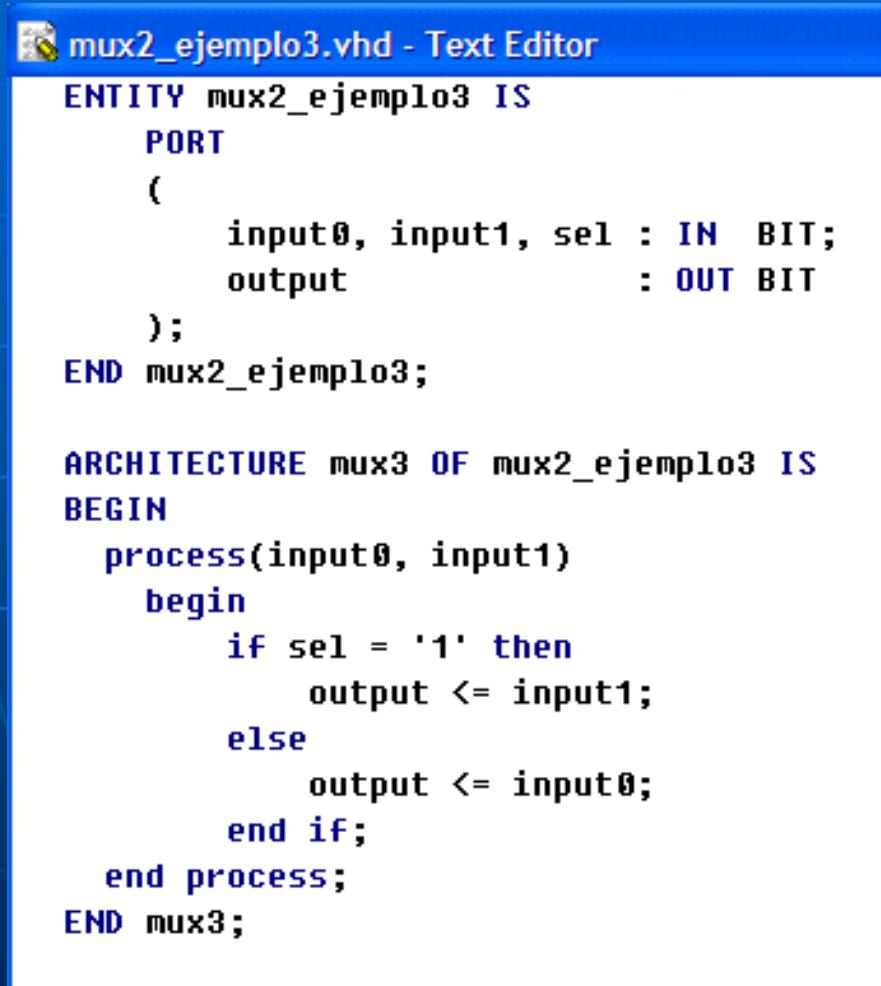
```
mux2_ejemplo2.vhd - Text Editor

ENTITY mux2_ejemplo2 IS
    PORT
    (
        input0, input1, sel : IN BIT;
        output            : OUT BIT
    );
END mux2_ejemplo2;

ARCHITECTURE mux2 OF mux2_ejemplo2 IS
BEGIN
process(input0, input1)
begin
    case sel is
        when '1'      => output <= input1;
        when others   => output <= input0;
    end case;
end process;
END mux2;
```

# DISEÑO ALGORITMICO

Ejemplo multiplexor 2:1 con sentencia IF..ELSE



The screenshot shows a text editor window titled "mux2\_ejemplo3.vhd - Text Editor". The code is written in VHDL and defines a 2:1 multiplexer. It starts with an ENTITY declaration for "mux2\_ejemplo3" with ports for three inputs (input0, input1, sel) and one output. The ARCHITECTURE section begins with a process that takes input0 and input1 as parameters. Inside the process, an IF-THEN-ELSE statement checks the value of sel. If sel is '1', the output is assigned the value of input1; otherwise, it is assigned the value of input0. The process concludes with an END IF; statement, followed by an end process; and finally an END mux3; statement.

```
mux2_ejemplo3.vhd - Text Editor

ENTITY mux2_ejemplo3 IS
    PORT
    (
        input0, input1, sel : IN BIT;
        output             : OUT BIT
    );
END mux2_ejemplo3;

ARCHITECTURE mux3 OF mux2_ejemplo3 IS
BEGIN
    process(input0, input1)
    begin
        if sel = '1' then
            output <= input1;
        else
            output <= input0;
        end if;
    end process;
END mux3;
```

## USO CORRECTO E INCORRECTO DE SENTENCIA IF PARA DESCRIBIR COMBINATORIA

### EJEMPLO: DESCRIPCIÓN DE MUX 2:1



```
process (a, b, sel)
begin
  if sel = '1' then
    z <= a;
  elsif sel /= '1' then
    z <= b;
  end if;
end process;
```

Genera un MUX + Latch

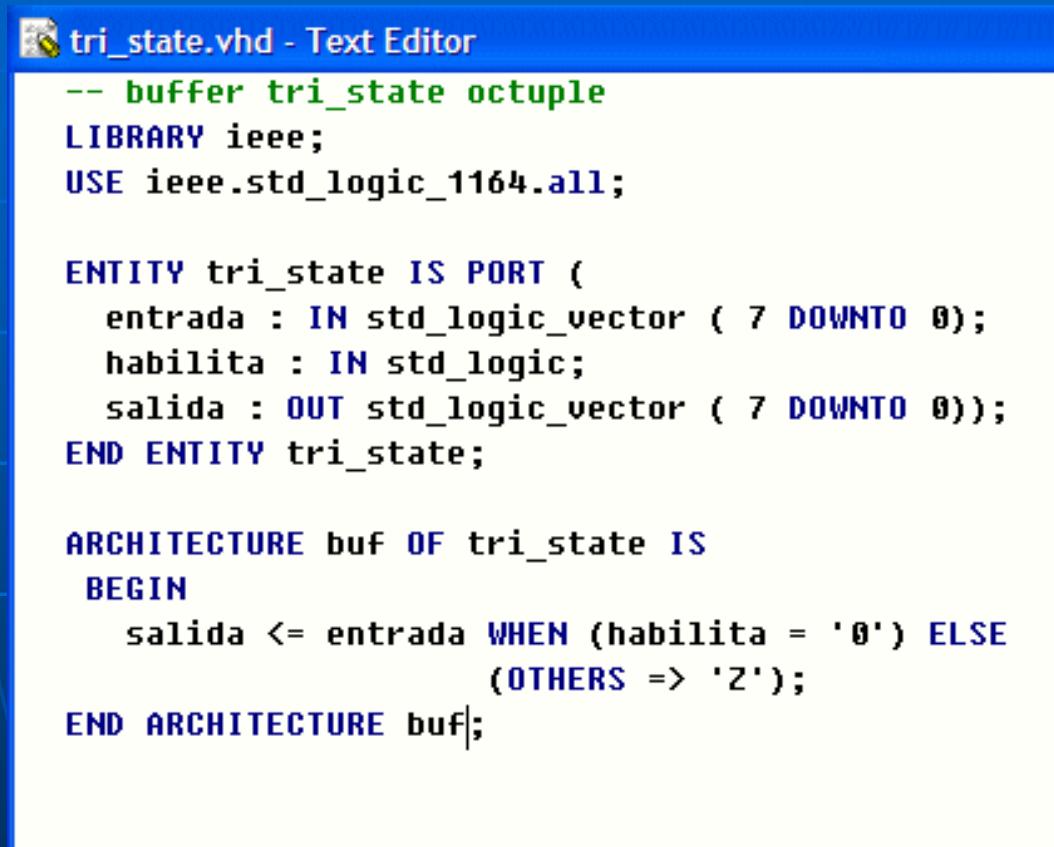


```
process (a, b, sel)
begin
  if sel = '1' then
    z <= a;
  else
    z <= b;
  end if;
end process;
```

Genera un MUX

# DISEÑO POR FLUJO DE DATOS

## Ejemplo de buffer tri\_state octuple



The screenshot shows a text editor window titled "tri\_state.vhd - Text Editor". The code is written in VHDL and defines a tri-state buffer entity and its architecture.

```
-- buffer tri_state octuple
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;

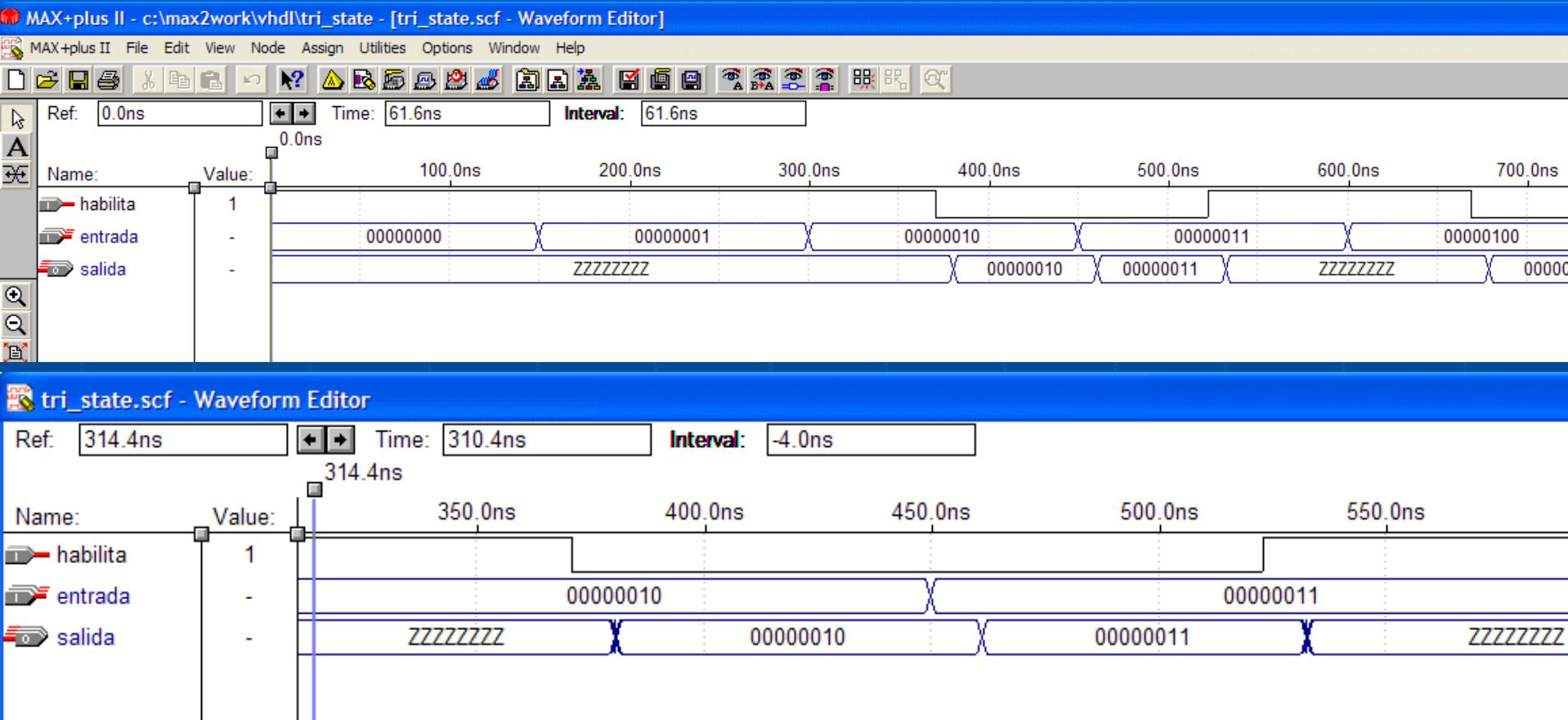
ENTITY tri_state IS PORT (
    entrada : IN std_logic_vector ( 7 DOWNTO 0);
    habilita : IN std_logic;
    salida : OUT std_logic_vector ( 7 DOWNTO 0));
END ENTITY tri_state;

ARCHITECTURE buf OF tri_state IS
BEGIN
    salida <= entrada WHEN (habilita = '0') ELSE
        (OTHERS => 'Z');
END ARCHITECTURE buf;
```

# DISEÑO POR FLUJO DE DATOS

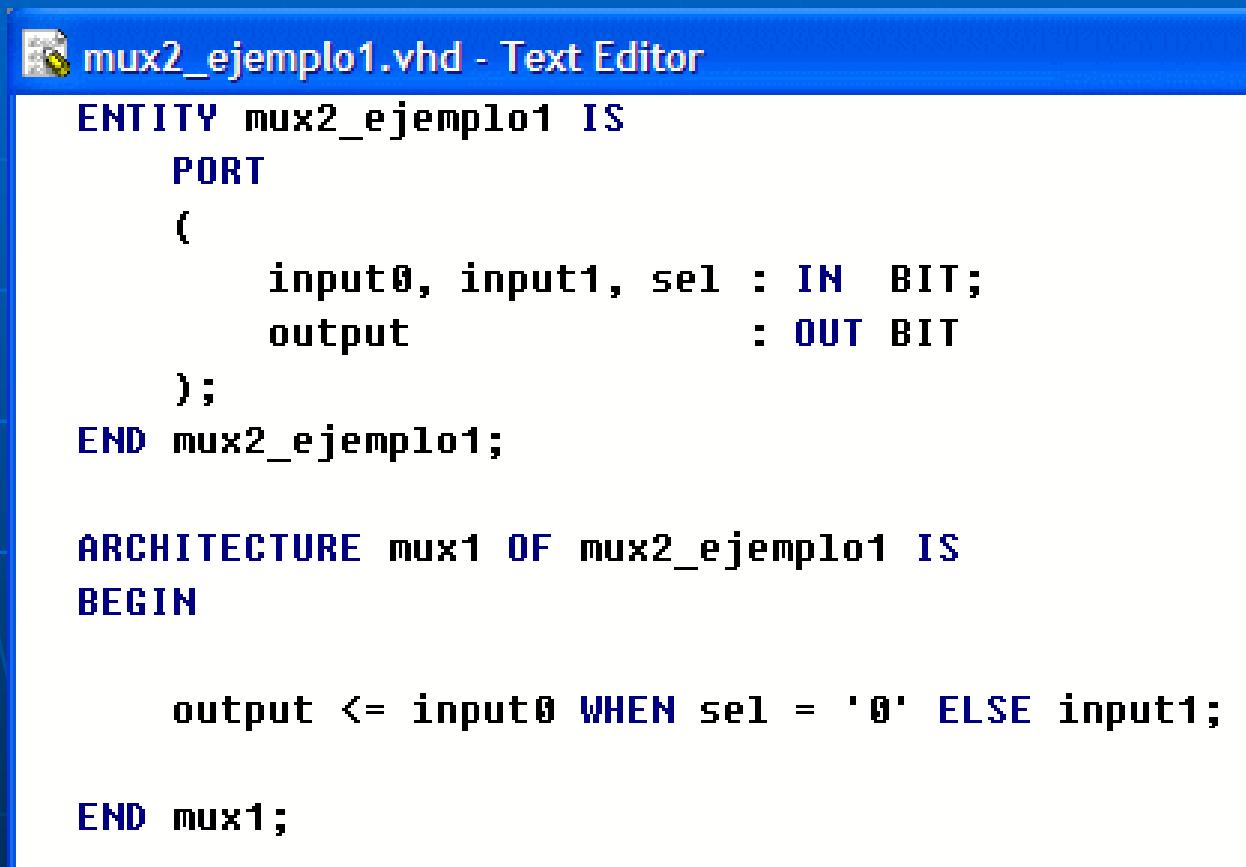
## Ejemplo de buffer tri\_state octuple

Simulación con el  
“waveform editor”  
del MAX+plus II



# DISEÑO POR FLUJO DE DATOS

Ejemplo de multiplexor 2:1 con sentencia WHEN..ELSE



The screenshot shows a text editor window titled "mux2\_ejemplo1.vhd - Text Editor". The code is written in VHDL and defines a 2:1 multiplexer. It starts with an ENTITY declaration for "mux2\_ejemplo1" with a single port containing three pins: "input0", "input1", and "sel". The "sel" pin is an IN BIT type, and the other two pins are OUT BIT types. The ENTITY ends with a semicolon. Following this is an ARCHITECTURE declaration for "mux1" of the entity "mux2\_ejemplo1". The architecture begins with a BEGIN keyword. Inside the BEGIN block, there is a single assignment statement: "output <= input0 WHEN sel = '0' ELSE input1;". This statement uses a WHEN..ELSE construct to select between "input0" and "input1" based on the value of "sel". The architecture concludes with an END keyword followed by "mux1".

```
mux2_ejemplo1.vhd - Text Editor

ENTITY mux2_ejemplo1 IS
  PORT
  (
    input0, input1, sel : IN  BIT;
    output             : OUT BIT
  );
END mux2_ejemplo1;

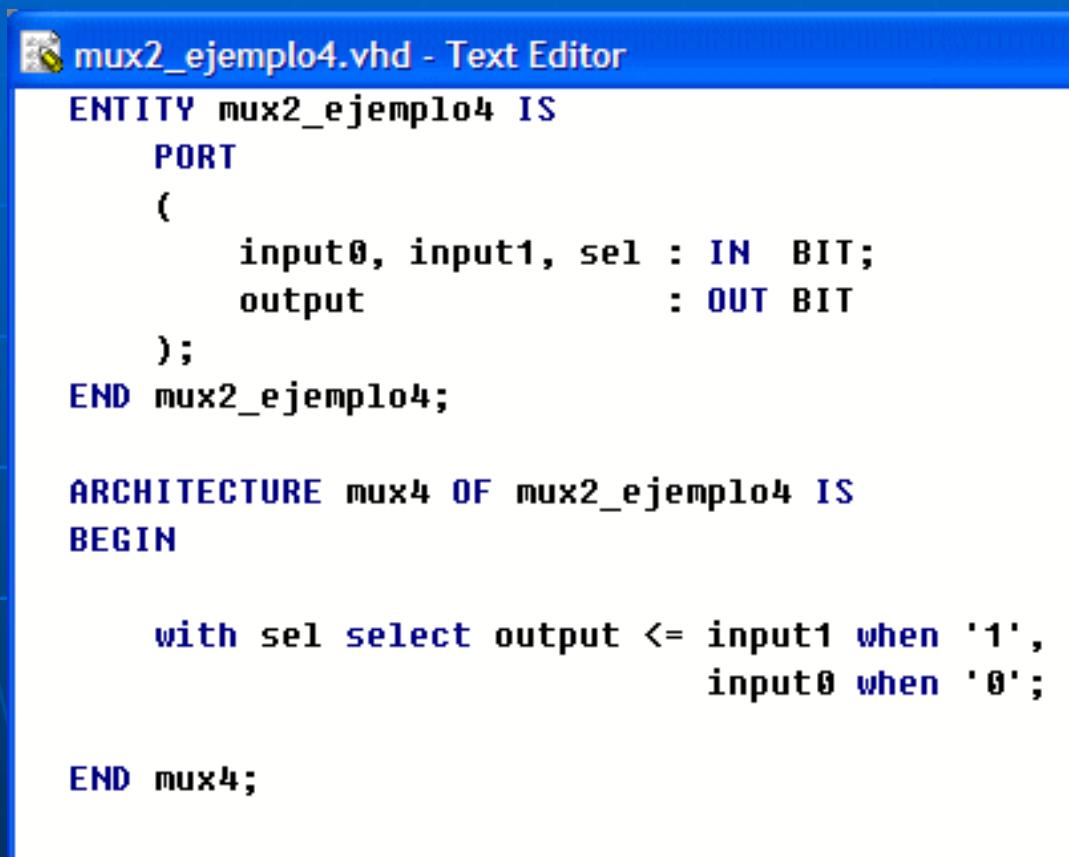
ARCHITECTURE mux1 OF mux2_ejemplo1 IS
BEGIN

  output <= input0 WHEN sel = '0' ELSE input1;

END mux1;
```

# DISEÑO POR FLUJO DE DATOS

Ejemplo de multiplexor 2:1 con sentencia WITH..SELECT



The screenshot shows a text editor window titled "mux2\_ejemplo4.vhd - Text Editor". The code is written in VHDL and defines a 2:1 multiplexer. It starts with an ENTITY declaration for "mux2\_ejemplo4" with two inputs ("input0" and "input1") and one output ("output"). The PORT section includes declarations for "sel" (selection bit) and "output". The ENTITY ends with a semicolon. The next line is "END mux2\_ejemplo4;". Following this is an ARCHITECTURE declaration for "mux4" of "mux2\_ejemplo4". The architecture begins with a BEGIN keyword. Inside, there is a "with sel select" statement that maps "output" to either "input1" or "input0" based on the value of "sel". The architecture concludes with an END keyword followed by "mux4".

```
mux2_ejemplo4.vhd - Text Editor
ENTITY mux2_ejemplo4 IS
  PORT
  (
    input0, input1, sel : IN BIT;
    output            : OUT BIT
  );
END mux2_ejemplo4;

ARCHITECTURE mux4 OF mux2_ejemplo4 IS
BEGIN

  with sel select output <= input1 when '1',
                input0 when '0';

END mux4;
```

## EJEMPLO de asignación concurrente con WITH..SELECT

```
-- decodificador BCD a 7 segmentos
ENTITY decobcda7s IS PORT (
    bcdin : IN INTEGER RANGE 0 TO 9;
    salida : OUT BIT_VECTOR ( 6 DOWNTO 0));
END ENTITY decobcda7s;

ARCHITECTURE deco OF decobcda7s IS
BEGIN
    WITH bcdin SELECT
        salida <= B"1111110" WHEN 0, B"0110000" WHEN 1,
        B"1101101" WHEN 2, B"1111001" WHEN 3,
        B"0110011" WHEN 4, B"1011011" WHEN 5,
        B"1011111" WHEN 6, B"1110000" WHEN 7,
        B"1111111" WHEN 8, B"1111011" WHEN 9,
        B"0000000" WHEN OTHERS;
END ARCHITECTURE deco;
```

# EJEMPLO de asignación concurrente con WITH..SELECT

```
deco2a4.vhd - Text Editor
-- decodificador 2 a 4
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;

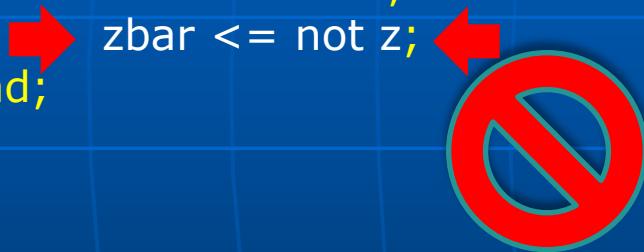
ENTITY deco2a4 IS PORT (
    decoin : IN std_logic_vector (1 DOWNTO 0);
    salida : OUT std_logic_vector ( 3 DOWNTO 0));
END ENTITY deco2a4;

ARCHITECTURE decodi OF deco2a4 IS
BEGIN
    WITH decoin SELECT
        salida <= "1000" WHEN "11",
                    "0100" WHEN "10",
                    "0010" WHEN "01",
                    "0001" WHEN "00",
                    "XXXX" WHEN OTHERS;
END ARCHITECTURE decodi;
```

# PARA QUÉ SIRVEN LAS SEÑALES ?

Un ejemplo

```
entity and_nand is
    port (a, b : in bit;
          z, zbar : out bit);
end;
architecture illegal of and_nand is
begin
    z <= a and b;
    zbar <= not z;
end;
```



Así no puede ser usado 'z', para leer su estado y modificar a zbar, porque 'z' es una salida.

```
entity and_nand is
    port (a, b : in bit;
          z, zbar : out bit);
end;
architecture behaviour of and_nand is
begin
    signal result : bit;
    begin
        result <= a and b;
        z <= result;
        zbar <= not result;
    end;
```



La solución es usar una 'señal' (result) para leer su estado y modificar zbar (y de paso a 'z' en este ejemplo).

CONVIENE SIEMPRE USAR SEÑALES Y AL FINAL DE «ARCHITECTURE» ASIGNARLAS A LOS PORTS DE SALIDA.

# SEÑALES VERSUS VARIABLES

## EJEMPLO

### Definición de 'C' como SEÑAL

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity enti1 is
    port
    (
        a1, b1 : in integer;
        d1, e1 : out integer
    );
end entity;

architecture maldef of enti1 is
    SIGNAL c, d, e : integer := 0;
BEGIN
    PROCESS (a1,b1)
    BEGIN
        c <= a1;
        d <= c + 12;
        c <= b1;
        e <= c + 12;
    END PROCESS;

    d1 <= d;
    e1 <= e;
END maldef;
```

### Defnición de 'C' como VARIABLE

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity enti2 is
    port
    (
        a1, b1 : in integer;
        d1, e1 : out integer
    );
end entity;

architecture biendef of enti2 is
    SIGNAL d, e: integer := 0;
BEGIN
    PROCESS (a1,b1)
    variable c : integer := 0;
    BEGIN
        c := a1;
        d <= c + 12;
        c := b1;
        e <= c + 12;
    END PROCESS;

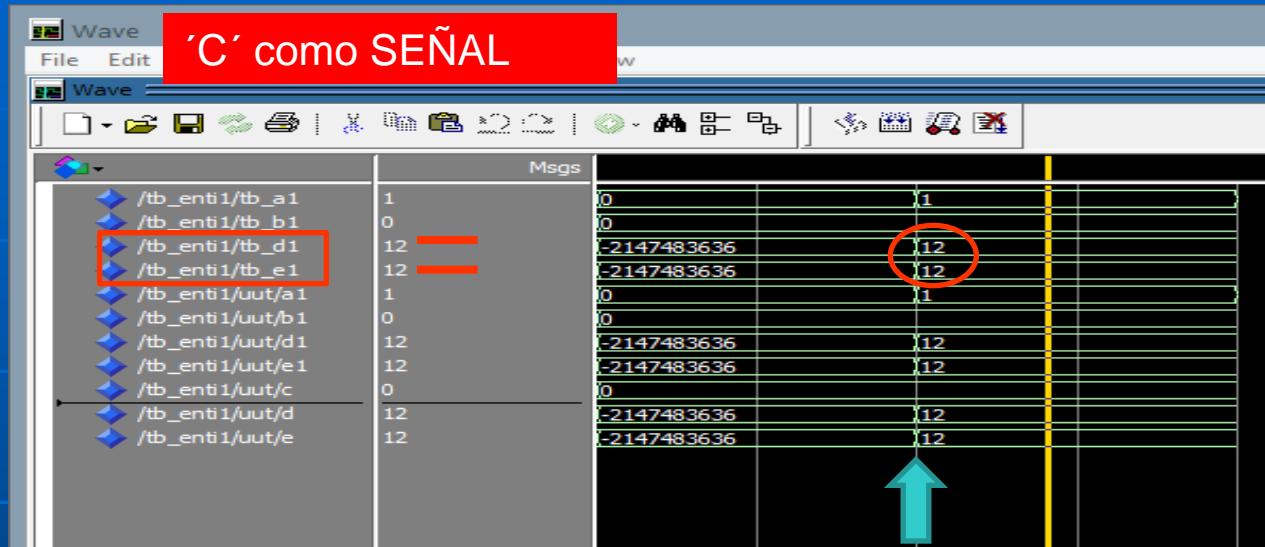
    d1 <= d;
    e1 <= e;
END biendef;
```

## SEÑALES VERSUS VARIABLES

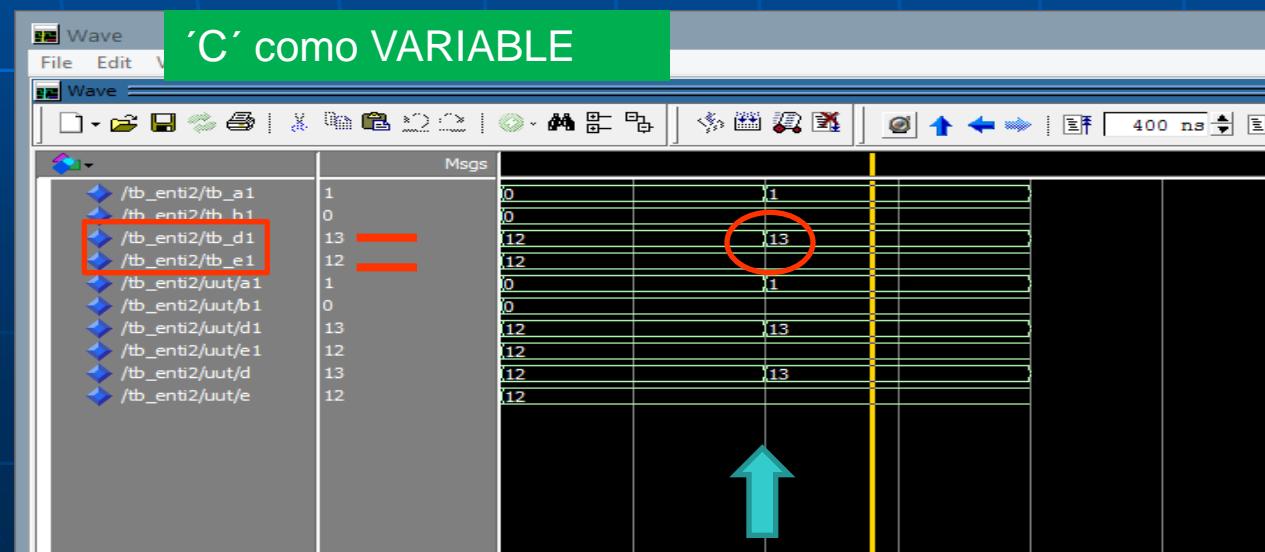
## EJEMPLO (Continuación)

En  $t = 0$  ns  $\Rightarrow a_1 = 0$  y  $b_1 = 0$ .

En  $t = 200$  ns  $\Rightarrow a_1 = 1$  y  $b_1 = 0$  (el cambio se muestra con la flecha).



d1 y e1 finalizan en 12.



e1 finaliza en 12  
y  
d1 finaliza en 13.

## Ejemplo 1: DESCRIPCIÓN COMBINACIONAL CON PROCESS y señales

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all,
ieee.numeric_std.all;
entity sum is
    port (a, b : in unsigned(3 downto 0);
          sum : out unsigned(3 downto 0));
end;
architecture behaviour of sum is
begin
```

CON LISTA DE  
SENSITIVIDAD

```
process (a,b)
begin
    sum <= a + b;
end process;
```

```
end;
```

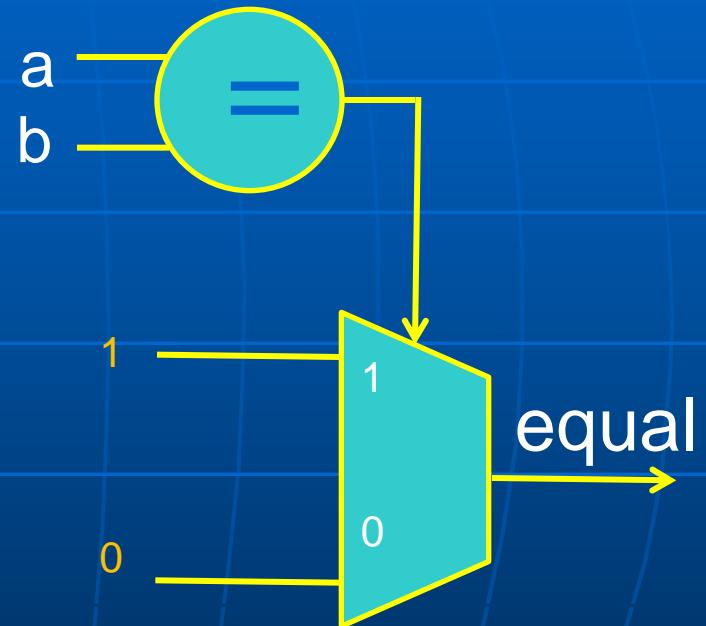
SIN LISTA DE  
SENSITIVIDAD

```
process
begin
    sum <= a + b;
    wait on a, b;
end process;
```

WAIT puede  
estar al principio  
o al final en una  
descripción  
combinacional

## Ejemplo 2: DESCRIPCIÓN COMBINACIONAL CON **PROCESS** y señales

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all,
ieee.numeric_std.all;
entity compare is
    port (a, b : in unsigned (7 downto 0);
          equal : out std_logic);
end;
architecture behaviour of compare is
begin
    process (a, b)
    begin
        if a = b then
            equal <= '1';
        else
            equal <= '0';
        end if;
    end process;
end;
```



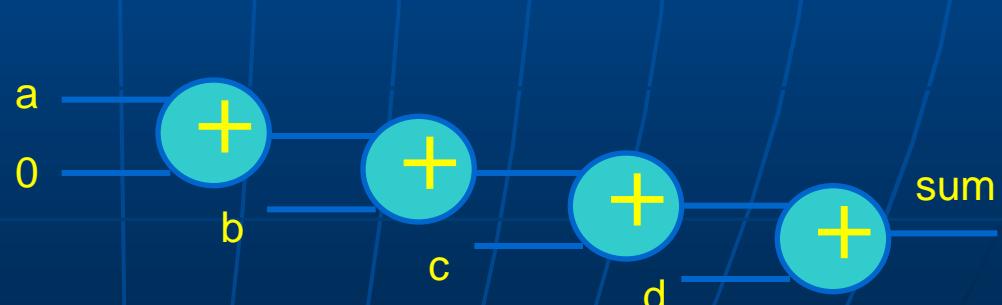
### Ejemplo 3: DESCRIPCIÓN COMBINACIONAL CON PROCESS y variables

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
entity adder is
    port (a, b, c, d : in signed(7 downto 0);
          result : out signed(7 downto 0));
end entity;
```

```
architecture behaviour of adder is
```

```
begin
    four_add: process (a, b, c, d)
        variable sum : signed(7 downto 0);
    begin
        sum := a;
        sum := sum + b;
        sum := sum + c;
        sum := sum + d;
        result <= sum;
    end process;
end;
```

Cada vez que cambia alguna señal de entrada, se dispara el proceso y se recalcula la suma de  $a+b+c+d$ .



## EJEMPLO de uso de LOOP (asignación secuencial)

```
LIBRARY ieee; USE ieee.std_logic_1164.ALL;
ENTITY sumador IS
  GENERIC (n_bits : INTEGER :=4);
  PORT (a : IN std_logic_vector (n_bits DOWNTO 1);
        b : IN std_logic_vector (n_bits DOWNTO 1);
        c_in : IN std_logic (n_bits DOWNTO 1);
        c_out : OUT std_logic;
        suma : std_logic_vector (n_bits DOWNTO 1));
END ENTITY sumador;

ARCHITECTURE sumador_rc OF sumador IS
BEGIN
  PROCESS (a, b, c_in)
    VARIABLE vsuma : std_logic_vector (n_bits DOWNTO 1);
    VARIABLE carry : std_logic;
    BEGIN
      carry := c_in;
      FOR i IN 1 TO n_bits LOOP
        vsuma(i) := a(i) XOR b(i) XOR carry;
        carry := (a(i) AND b(i)) OR (carry AND (a(i) OR b(i)));
      END LOOP;
      suma <= vsuma; c_out <= carry;
    END PROCESS;
END ARCHITECTURE sumador_rd;
```

Diseño de un sumador  
ripple-carry de 4 bits

## EJEMPLO de uso de GENERATE

Diseño de un sumador  
ripple-carry de 4 bits

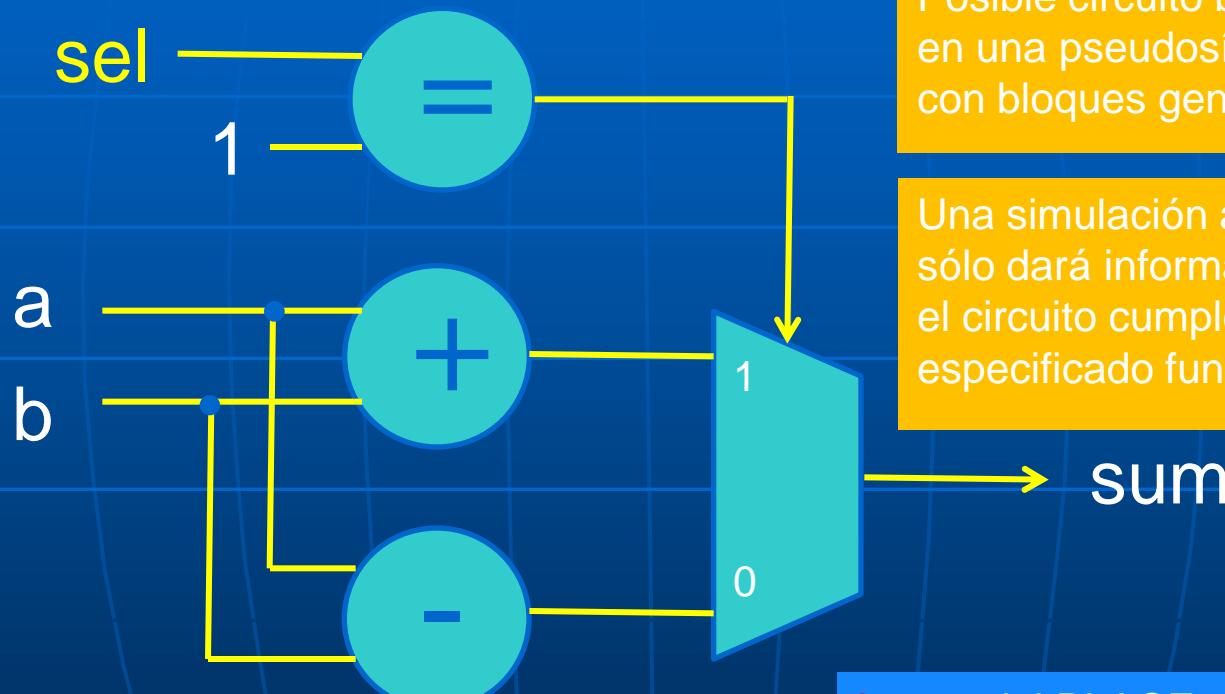
```
ENTITY sumador2 IS PORT (
    a,b : IN BIT_VECTOR (4 DOWNTO 1);
    c_out : OUT BIT; sum : OUT BIT_VECTOR(4 DOWNTO 1));
END ENTITY sumador2;
```

```
ARCHITECTURE sum_con_gen OF sumador2 IS
    SIGNAL c: BIT_VECTOR (5 DOWNTO 1);
BEGIN
    c(1) <= `0';
    adders: FOR i IN 1 TO 4 GENERATE
        sum(i) <= a(i) XOR b(i) XOR c(i);
        c(i+1) <= (a(i) AND b(i)) OR (a(i) AND b(i))
            OR (b(i) AND c(i));
    END GENERATE;
    cout <= c(5);
END ARCHITECTURE sum_con_gen;
```

Generate es una sentencia concurrente empleada usualmente para describir estructuras que tienen un patrón repetitivo en su diseño.

Resultado posible de una descripción **antes** de PLACE and ROUTE

sum <= a + b when sel = '1' else a - b;



Possible circuito basado en una pseudosíntesis con bloques genéricos

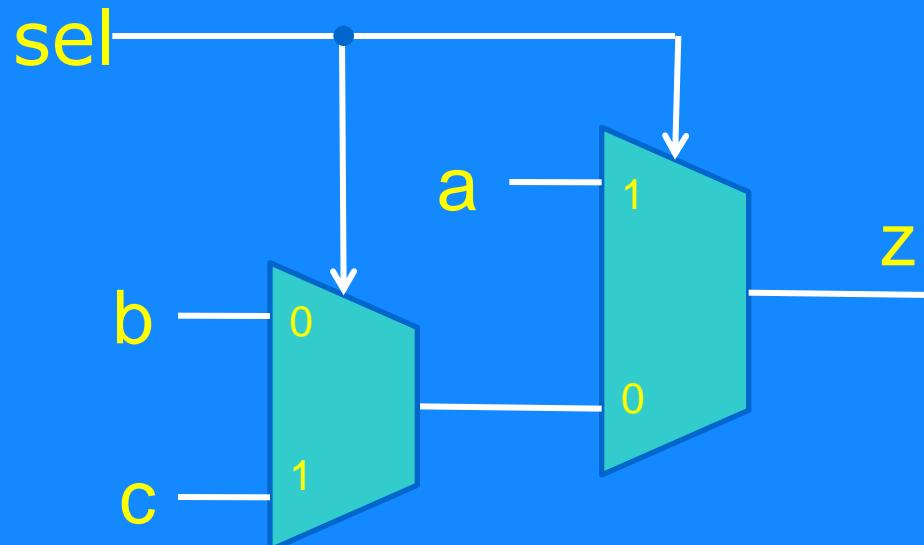
Una simulación a este nivel sólo dará información de si el circuito cumple con lo especificado funcionalmente

Luego del PLACE and ROUTE

EN BASE A LOS RECURSOS QUE TENGA LA FPGA, A LA INTELIGENCIA DEL COMPILADOR Y EVENTUALES DIRECTIVAS DEL DISEÑADOR, SERÁ EL HARDWARE FINALMENTE IMPLEMENTADO. Aquí SI se tendrá información confiable del TIMING.

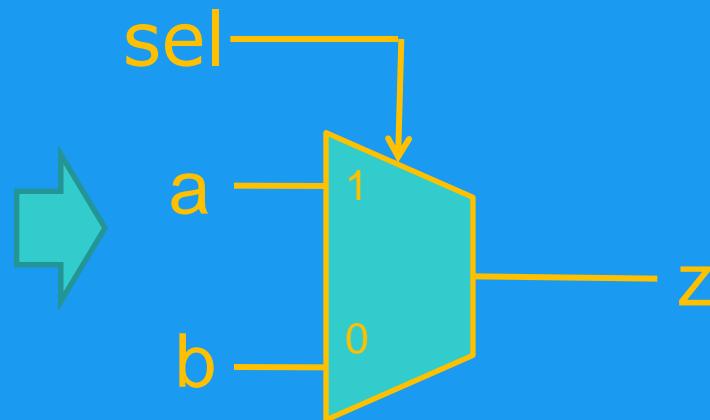
## Ejemplo donde existe una mala descripción de un circuito.

```
z <= a when sel = '1' else  
b when sel = '0' else  
c;
```



AL COMPIALAR ... ESPERAMOS  
QUE SE MINIMICE A ESTO .....

Es muy probable que el **COMPILADOR** lo  
advierta y simplifique el circuito.



En casos mas complejos **NO** sabemos si el **COMPILADOR** lo hará.

## PROCESS: USO DE SENTENCIA FOR ... LOOP

```
library ieee;  
use ieee.std_logic_1164.all;  
entity match_bits is  
port (a, b : in std_logic_vector(7 downto 0);  
equal_out : out std_logic_vector(7 downto 0));  
end;
```

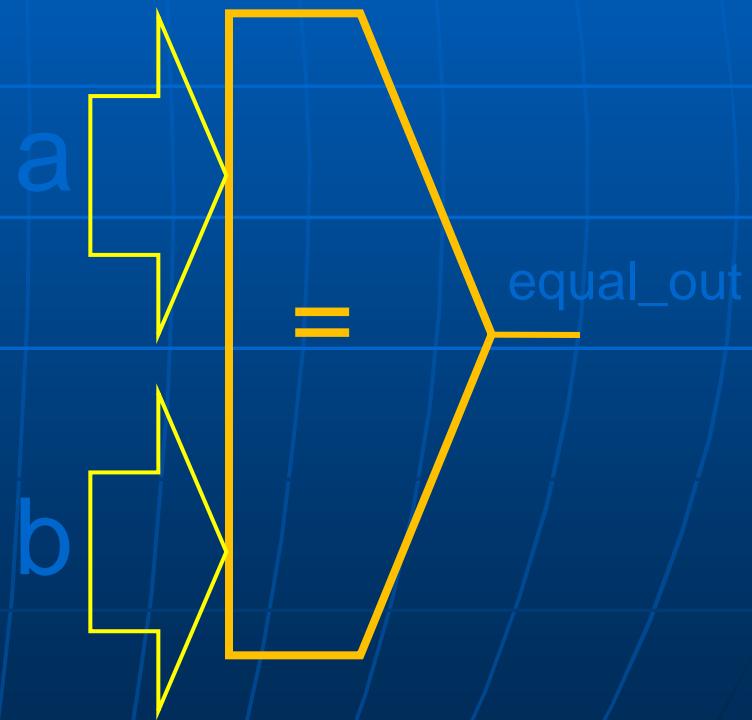
## EJEMPLO: COMPARADOR DE IGUALDAD BIT A BIT

Circuito Combinatorio

```
architecture behaviour of match_bits is  
begin  
process (a, b)  
begin  
for i in 7 downto 0 loop  
equal_out(i) <= a(i) xnor b(i);  
end loop;  
end process;  
end;
```

Otra manera de expresar el lazo:

→ **for i in integer range 7 downto 0 loop**



## PROCESS: USO DE SENTENCIA FOR ... LOOP

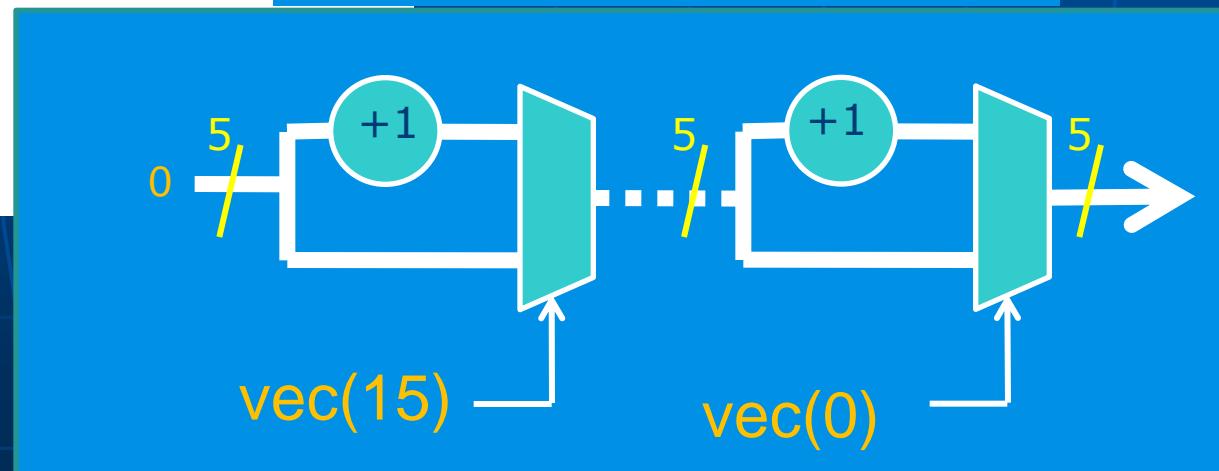
### EJEMPLO: CONTADOR DE UNOS.

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all, ieee.numeric_std.all;
entity contador_de_unos is
    port (vec : in std_logic_vector(15 downto 0);
          count : out unsigned(4 downto 0));
end;
architecture behaviour of contador_de_unos is
begin
    process (vec)
        variable result : unsigned(4 downto 0);
    begin
        result := "00000"; ← Inicialización de VARIABLE
        for i in 15 downto 0 loop
            if vec(i) = '1' then
                result := result + 1;
            else result := result;
            end if;
        end loop;
        count <= result;
    end process;
end;
```

Circuito Combinatorio

Inicialización de VARIABLE

POSIBLE SÍNTESIS DEL CIRCUITO



# PROCESS: USO DE SENTENCIA FOR ... LOOP

## EJEMPLO: CONTADOR DE UNOS.

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all, ieee.numeric_std.all;

entity tb_contador_de_unos is
end tb_contador_de_unos;

architecture test of tb_contador_de_unos is

component contador_de_unos
    Port (    vec : in std_logic_vector(15 downto 0);
              count : out unsigned(4 downto 0));
end component;

signal tb_vec      : std_logic_vector(15 downto 0);
signal tb_count    : unsigned(4 downto 0);

begin

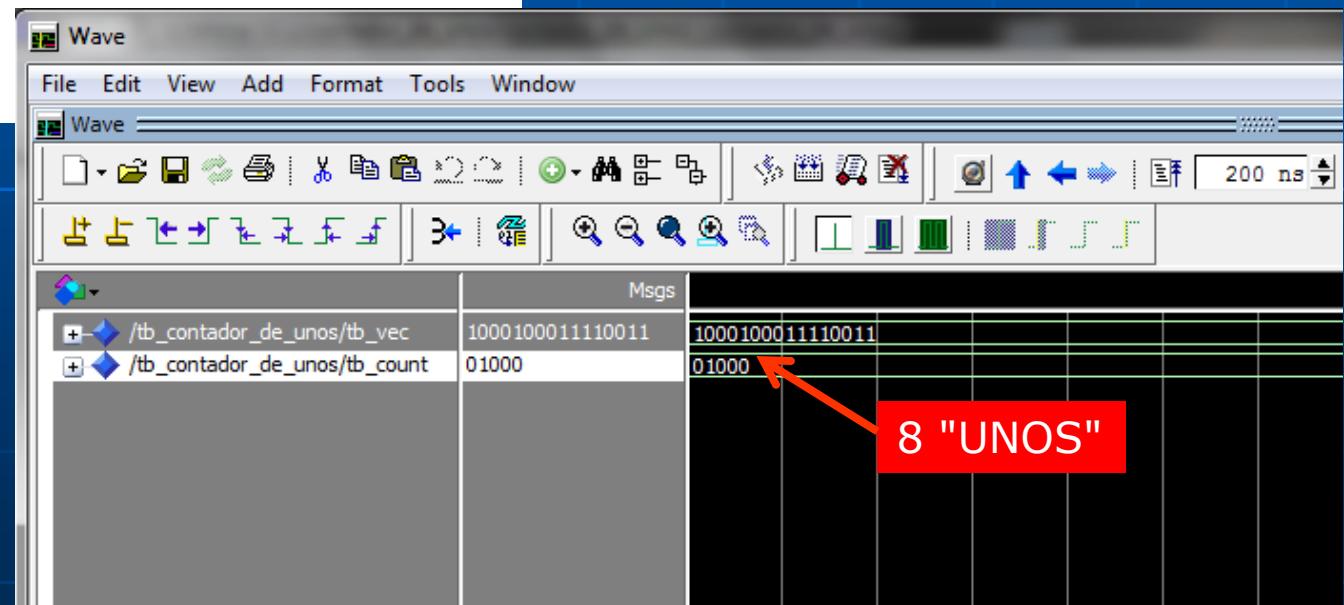
    uut: contador_de_unos port map ( tb_vec, tb_count);

    estimulos : process
    begin
        tb_vec <= "1000100011110011";
        wait for 200 ns;
    end process estimulos;

end test;
```

TEST-BENCH

VALOR INICIAL DE LA ENTRADA  
PARA CORRER LA SIMULACIÓN



# Diseño de Compuertas

Ejemplo: modelo de una compuerta AND

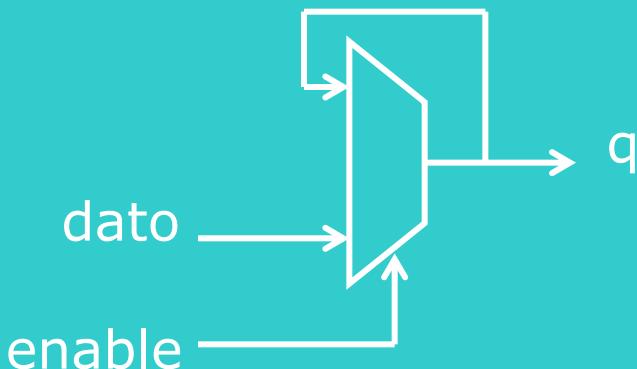
```
ENTITY and2 IS
    PORT (a:in bit; b:in bit; z:out bit);
END and2;

ARCHITECTURE funcional OF and2 IS
BEGIN
    PROCESS (a,b)
    BEGIN
        IF a='1' and b='1' THEN z<='1';
        ELSE z<='0';
    END PROCESS;
END funcional;
```

# Diseño de Latches

```
ENTITY unlatch IS PORT ( enable, dato : IN std_logic;  
                         q : OUT std_logic);  
END unlatch;
```

```
ARCHITECTURE tipo_latch1 OF unlatch IS BEGIN  
    latch: PROCESS (enable, dato)  
    BEGIN  
        IF enable = '1' THEN q <= dato; END IF;  
    END PROCESS latch;  
END tipo_latch1;
```



possible síntesis  
del compilador

# Diseño de Flip-Flops

## Flip-Flop tipo "D"

```
LIBRARY ieee;  
USE ieee.std_logic_1164.all;  
  
ENTITY ff_tipod IS PORT ( d, reloj : IN std_logic;  
                           q : OUT std_logic);  
END ff_tipod;  
  
ARCHITECTURE tipo_reloj1 OF ff_tipod IS BEGIN  
  PROCESS  
    BEGIN  
      WAIT UNTIL reloj = '1'; q <= d; --sensible a flanco ascendente  
    END PROCESS;  
  END tipo_reloj1;
```

Otra forma de declarar la sensibilidad al flanco ascendente:

```
PROCESS (reloj) BEGIN  
  IF reloj'EVENT AND reloj='1' THEN q <= d; END IF;  
END PROCESS;
```

# Diseño de Flip-Flops

flip\_flop\_d1.vhd - Text Editor

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

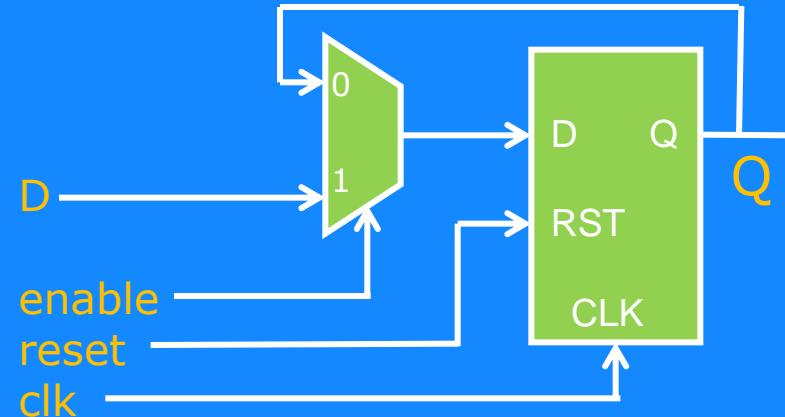
ENTITY flip_flop_d1 IS
  PORT
  (
    D, reset, clk, enable      : IN  std_logic;
    Q                           : OUT std_logic
  );
END flip_flop_d1;

ARCHITECTURE ffd1 OF flip_flop_d1 IS
BEGIN
  process(CLK, RESET, ENABLE)
  begin
    if RESET = '1' then
      Q <= '0';
    elsif rising_edge(CLK) then
      if Enable = '1' then
        Q <= D;
      end if;
    end if;
  end process;
END ffd1;
```

Flip-Flop tipo “D” con RESET asincrónico y habilitación de RELOJ

Aquí el RESET está fuera del proceso donde se evalúa que se hace cuando viene el flanco ascendente del reloj. Como está antes de la sentencia de detección del flanco de clk el “reset” funciona como asincrónico.

Possible síntesis del compilador



# Diseño de Flip-Flops

```
flip_flop_d2.vhd - Text Editor
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

ENTITY flip_flop_d2 IS
  PORT
  (
    D, reset, clk, enable      : IN  std_logic;
    Q                           : OUT std_logic
  );
END flip_flop_d2;

ARCHITECTURE ffd2 OF flip_flop_d2 IS
BEGIN
  process(CLK, RESET, ENABLE)
    begin
      if rising_edge(CLK) then
        if RESET = '1' then
          Q <= '0';
        elsif Enable = '1' then
          Q <= D;
        end if;
      end if;
    end process;
  END ffd2;
```

Flip-Flop tipo “D” con RESET sincrónico y habilitación de RELOJ

Ahora RESET está dentro del proceso y además se evalúa luego de detectar el flanco ascendente del reloj. Por lo tanto el “reset” es sincrónico.

# Diseño de Flip-Flops

Registro de 8 bits con  
RESET sincrónico

```
registro8bits.vhd - Text Editor
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;

ENTITY registro8bits IS
  PORT
  (
    data      : IN  std_logic_vector(7 DOWNTO 0);
    reset, clk : IN  std_logic;
    output     : OUT std_logic_vector(7 DOWNTO 0)
  );
END registro8bits;

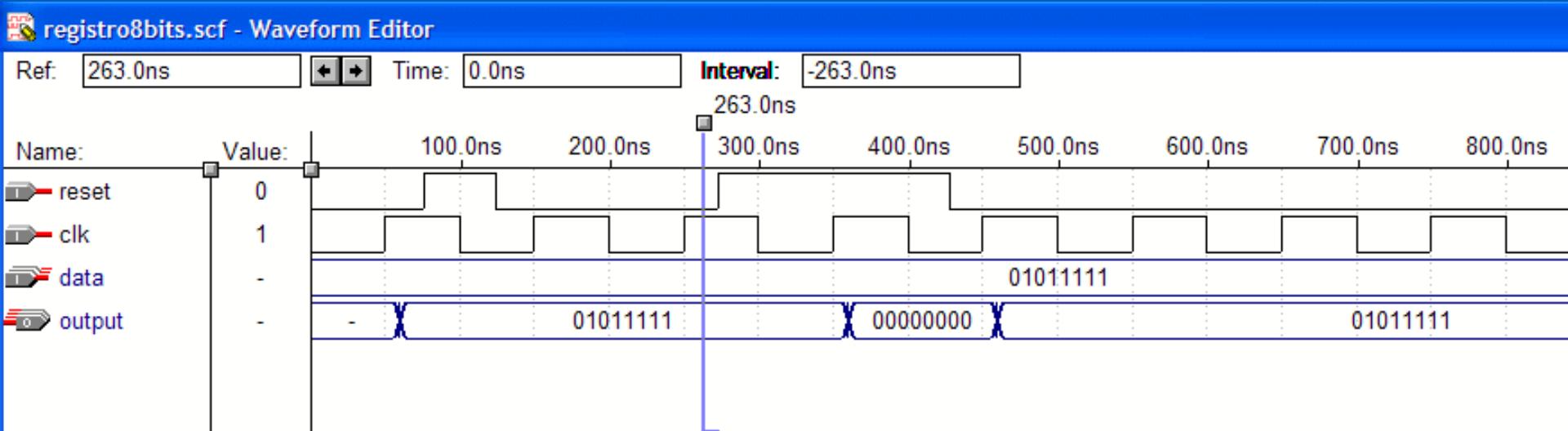
ARCHITECTURE ffidx8 OF registro8bits IS
BEGIN
  process(CLK, RESET)
    BEGIN
      WAIT UNTIL (clk'EVENT AND clk ='1');
      IF RESET = '1' then
        output <= "00000000";
      ELSE output <= data;
      END IF;
    END process;
END ffidx8;
```

El RESET está dentro del proceso donde se evalúa cuando viene el flanco ascendente del reloj

# Diseño de Flip-Flops

Registro de 8 bits con  
RESET sincrónico

## Simulación



## INFERENCIA DE 'LATCH' POR ESPECIFICACIÓN INCOMPLETA

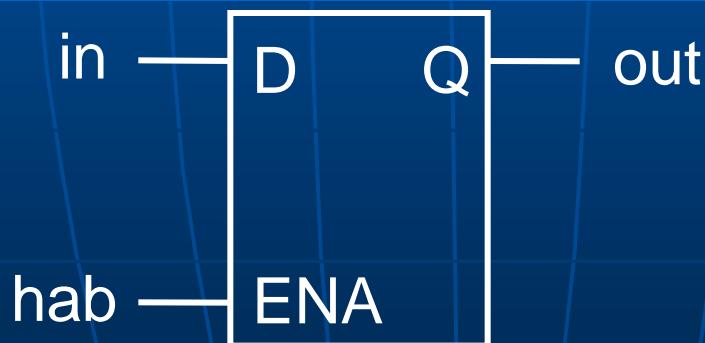
ejemplo 1

```
signal in, out : std_logic_vector(3 downto 0);  
signal hab : std_logic
```

```
process (hab, in)  
begin  
  if hab = '1' then  
    out <= in;  
  end if;  
end process;
```

No se definió que pasa cuando 'hab' es '0' ...!!!

El compilador, entonces, mantiene el último valor de la salida si pasa hab a '0'.



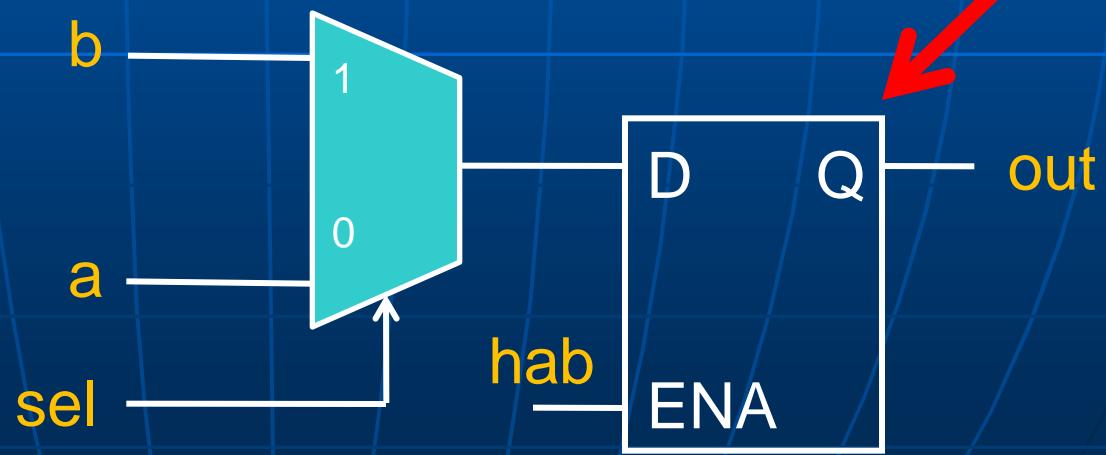
## INFERENCIA DE 'LATCH' POR REQUERIMIENTO

### ejemplo 2

```
process (hab, sel, a, b)
begin
    if hab = '1' then
        if sel = '0' then
            z <= a;
        else
            z <= b;
        end if;
    end if;
end process;
```

En caso de requerir la habilidad de memorizar la salida del MUX, se omite exprofeso la opción de 'hab = 0' ...

El compilador, entonces, mantiene el último valor de la salida si pasa hab a '0'.



# MAS SOBRE DIFERENCIAS ENTRE VARIABLES Y SEÑALES

## Otro ejemplo con un circuito secuencial

### Mismo proceso con diferentes asignaciones

```
signal a,b : std_logic_vector (3 downto 0) := "0000";
process (reloj)
begin
if (event'reloj and reloj='1') then a <= "1010";
b <= a;
end if;
end process;
```

En este caso cuando se ejecute el proceso por primera vez, la señal «a» adoptará el valor "1010", pero «b» seguirá con el valor "0000". Recién en el siguiente evento cambiará a "1010".

Las señales se actualizan luego de pasado el evento.

```
signal a,b : std_logic_vector (3 downto 0) := "0000";
process (reloj)
variable var : std_logic_vector (3 downto 0);
begin
if (event'reloj and reloj='1') then var := "1010";
a <= var;
b <= var;
end if;
end process;
```

En este caso cuando se ejecute el proceso, tanto «a» como «b» adoptarán el valor "1010".

Las variables se actualizan dentro del proceso.  
Puede ser varias veces si hay sentencia FOR-LOOP, por ejemplo.

# Diseño de Contadores

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_arith.all;

entity contador_bin1 is
generic ( WIDTH : integer := 32);
port (
    CLK, RESET, LOAD : in std_logic;
    DATA : in unsigned(WIDTH-1 downto 0);
    Q    : out unsigned(WIDTH-1 downto 0));
end entity contador_bin1;

architecture contador_32 of contador_bin1 is
signal cnt : unsigned(WIDTH-1 downto 0);
begin
process(RESET, CLK)
begin
    if RESET = '1' then
        cnt <= (others => '0');
    elsif rising_edge(CLK) then
        if LOAD = '1' then
            cnt <= DATA;
        else
            cnt <= cnt + 1;
        end if;
    end if;
end process;

Q <= cnt;

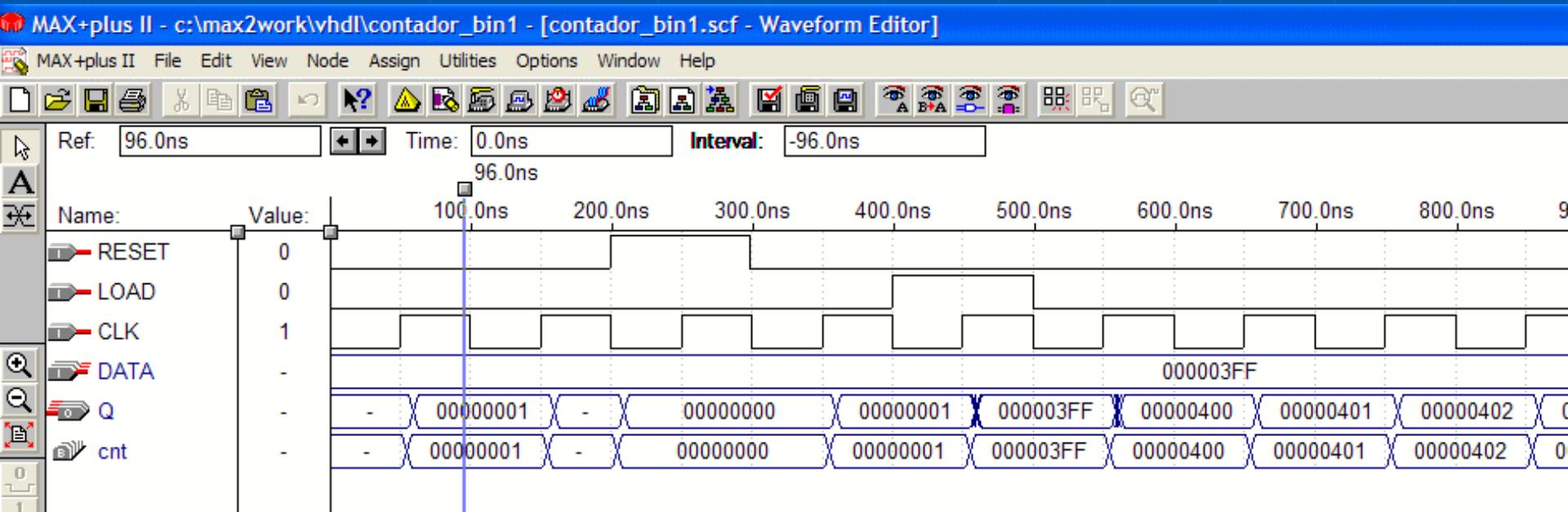
end architecture contador_32;
```

Contador binario progresivo  
de 32 bits con precarga y  
reset asincrónico

# Diseño de Contadores

Contador binario progresivo de 32 bits con precarga y reset asincrónico

## Simulación



# Diseño de Registro de Desplazamiento

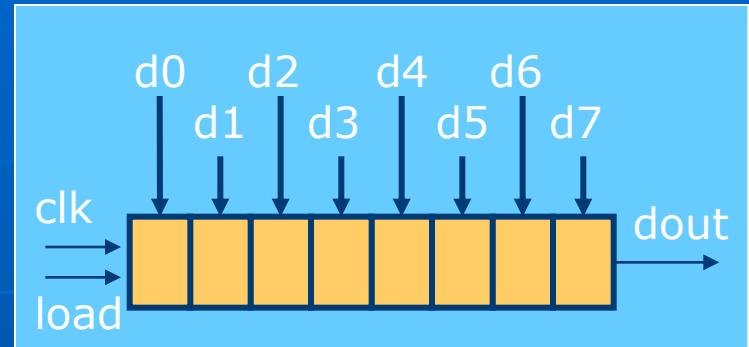
RD paralelo-serie  
con carga sinc.

## rd.vhd - Text Editor

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;

ENTITY rd IS PORT (
    d : IN STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0);
    clk, load : IN STD_LOGIC;
    dout : OUT STD_LOGIC);
END rd;

ARCHITECTURE rdpara_serie OF rd IS |
    SIGNAL reg : STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0);
BEGIN
    PROCESS (clk)
    BEGIN
        IF (clk'EVENT AND clk='1') THEN
            IF (load='1') THEN reg <= d;
            ELSE reg <= reg(6 DOWNTO 0) & '0';
            END IF;
        END IF;
    END PROCESS;
    dout <= reg(7);
END rdpara_serie;
```



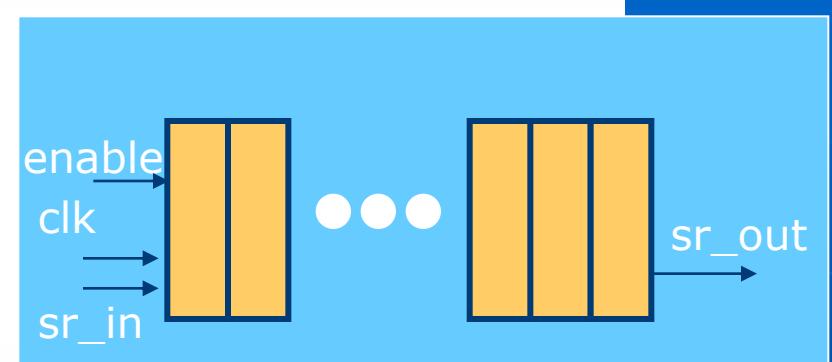
La carga del registro de desplazamiento es sincrónica ya que está dentro del proceso de control del flanco del reloj.

Esta operación con el operador de concatenación agrega en este caso un "0" en el bit LSB del RD.

# Diseño de Registro de Desplazamiento

RD serie-serie.

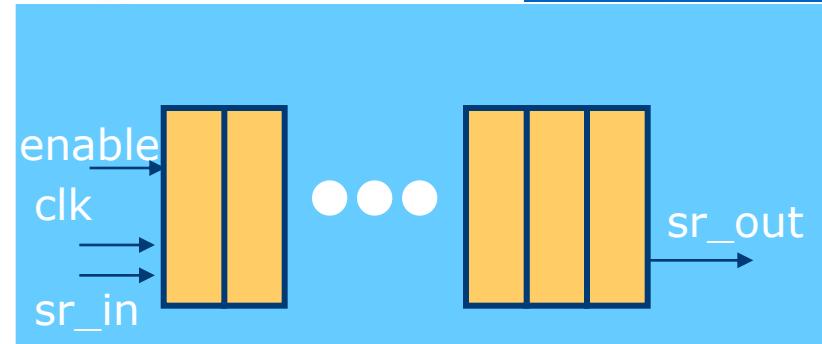
```
1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3
4  entity shift_1x64 is
5    port
6    (
7      sr_in : in std_logic;
8      enable : in std_logic;
9      clk    : in std_logic;
10     sr_out : out std_logic
11   );
12
13 end entity;
```



# Diseño de Registro de Desplazamiento

RD serie-serie.

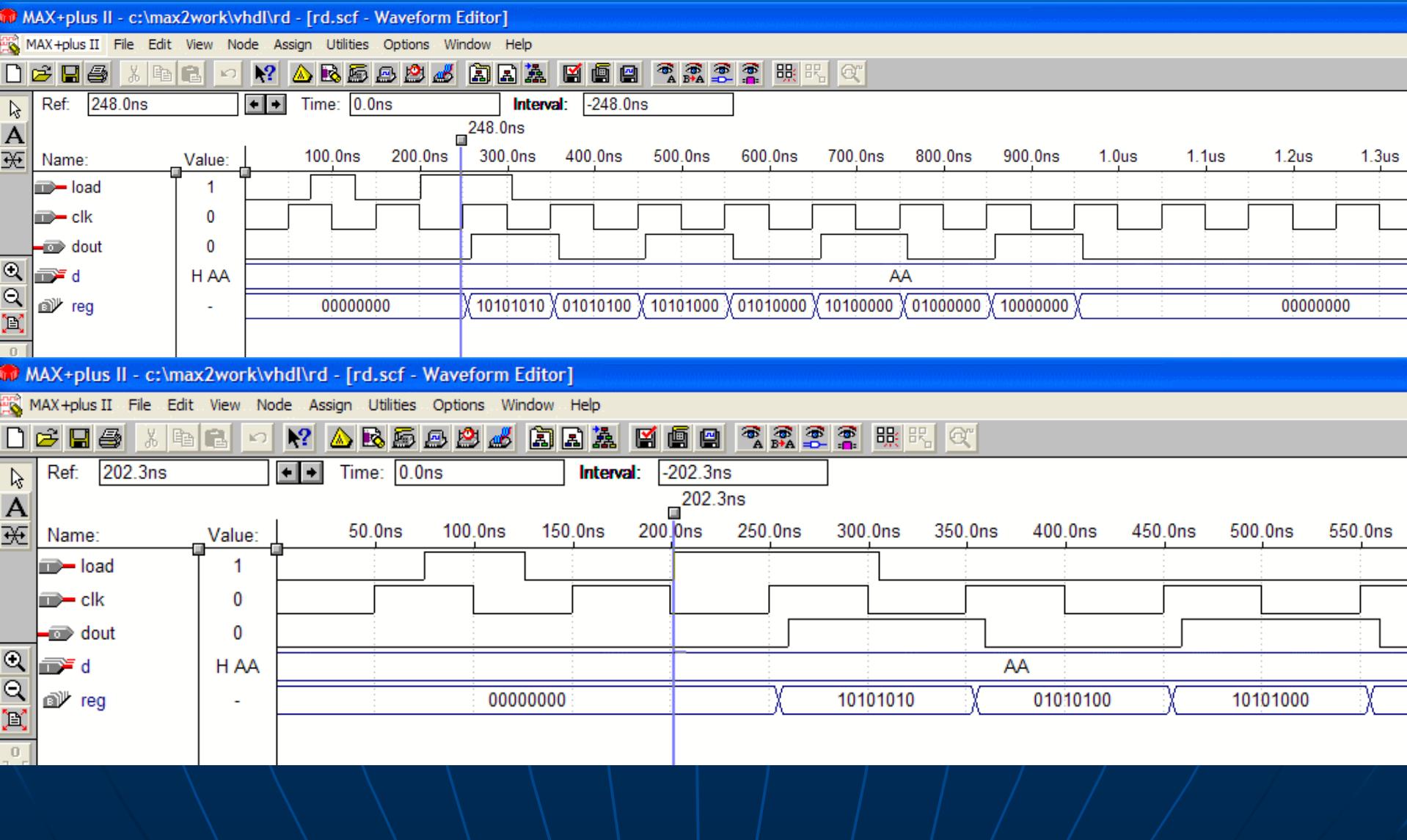
```
15  architecture rtl of shift_1x64 is
16
17      -- Build an array type for the shift register
18      type sr_length is array (63 downto 0) of std_logic;
19
20      -- Declare the shift register signal
21      signal sr: sr_length;
22
23  begin
24
25      process (clk)
26      begin
27          if (rising_edge(clk)) then
28              if (enable = '1') then
29
30                  -- Shift data by one stage; data from last stage is lost
31                  sr(63 downto 1) <= sr(62 downto 0);
32
33                  -- Load new data into the first stage
34                  sr(0) <= sr_in;
35
36              end if;
37          end if;
38      end process;
39
40      -- Capture the data from the last stage, before it is lost
41      sr_out <= sr(63);
42
```



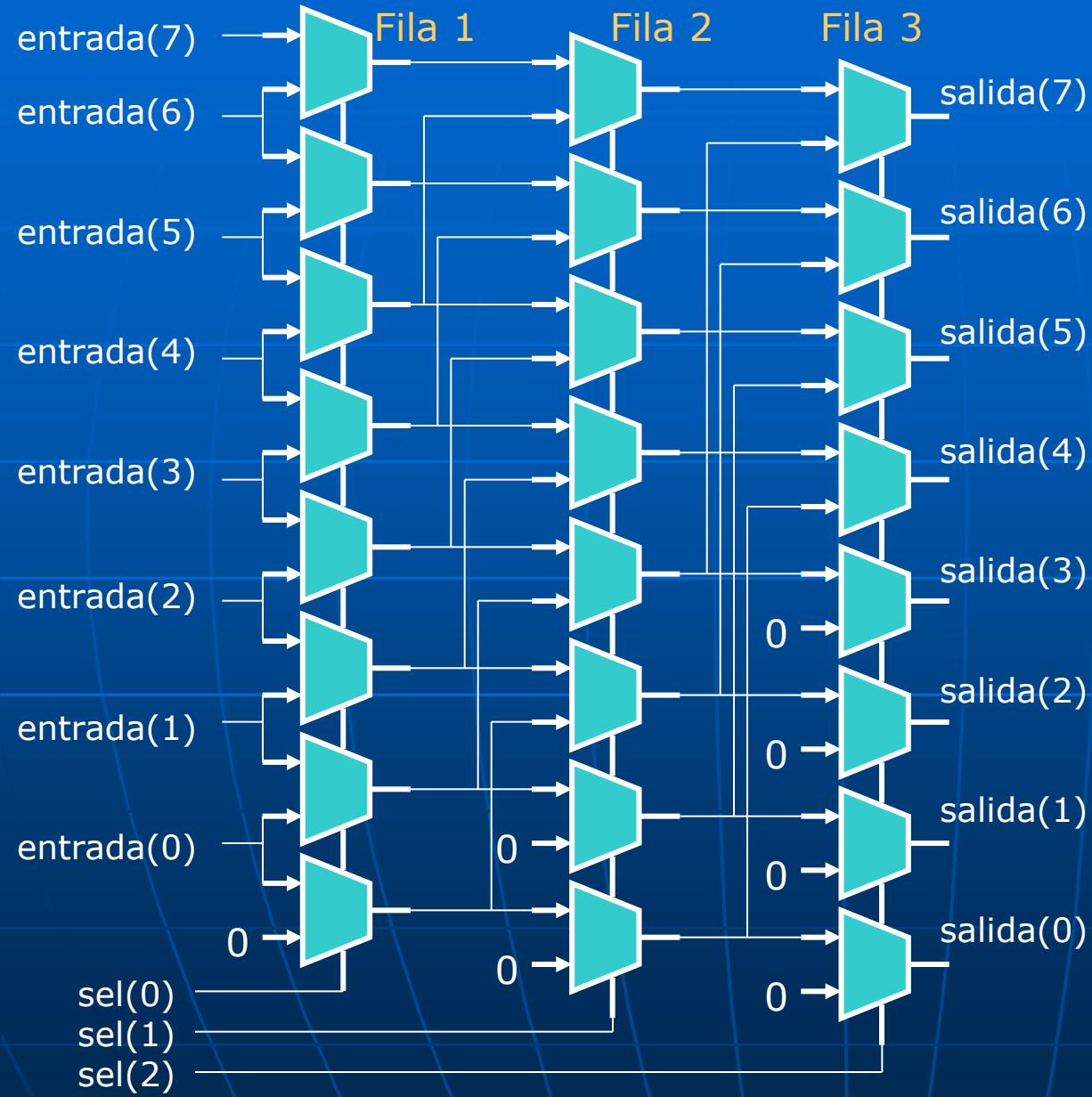
# Diseño de Registro de Desplazamiento

RD paralelo-serie  
con carga sinc.

## Simulación



# Diseño de Barrel Shifters



```

LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.ALL;

ENTITY shifter8bits IS
  PORT(
    entrada: IN STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
    sel: IN STD_LOGIC_VECTOR (2 downto 0);
    salida: OUT STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0));
END shifter8bits;

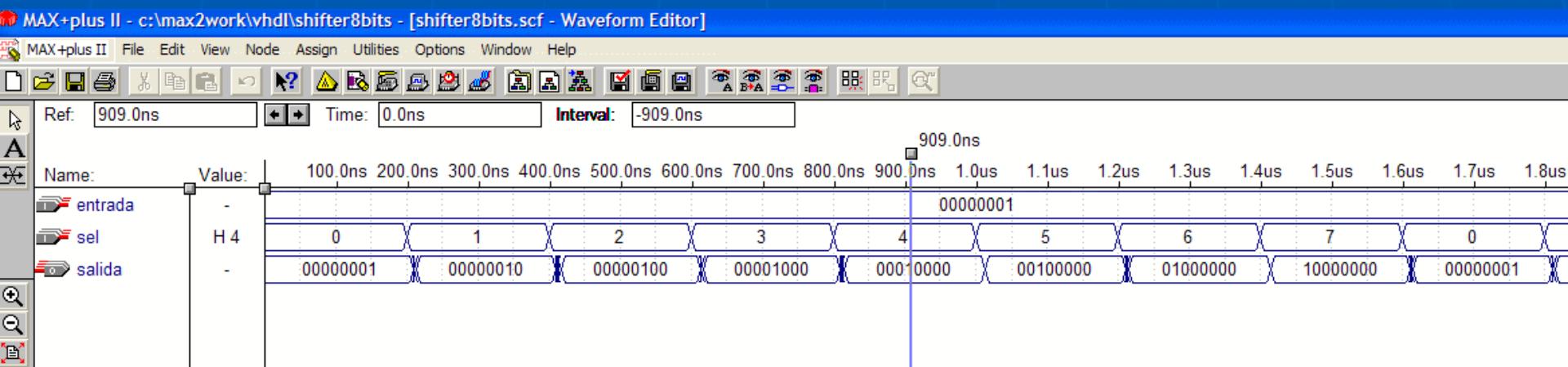
ARCHITECTURE barrel OF shifter8bits IS
BEGIN
PROCESS (entrada, sel)
  VARIABLE temp1: STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);
  VARIABLE temp2: STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);
BEGIN
--Primera fila
  IF (sel(0)='0') THEN
    temp1 := entrada;
  ELSE
    temp1(0) := '0';
    FOR i IN 1 TO entrada'HIGH LOOP
      temp1(i) := entrada(i-1);
    END LOOP;
  END IF;
--Segunda fila
  IF (sel(1)='0') THEN
    temp2 := temp1;
  ELSE
    FOR i IN 0 TO 1 LOOP
      temp2(i) := '0';
    END LOOP;
    FOR i IN 2 TO entrada'HIGH LOOP
      temp2(i) := temp1(i-2);
    END LOOP;
  END IF;
--Tercera fila
  IF (sel(2)='0') THEN
    salida <= temp2;
  ELSE
    FOR i IN 0 TO 3 LOOP
      salida(i) <= '0';
    END LOOP;
    FOR i IN 4 TO entrada'HIGH LOOP
      salida(i) <= temp2(i-4);
    END LOOP;
  END IF;
END PROCESS;
END barrel;

```

# Diseño de Barrel Shifters

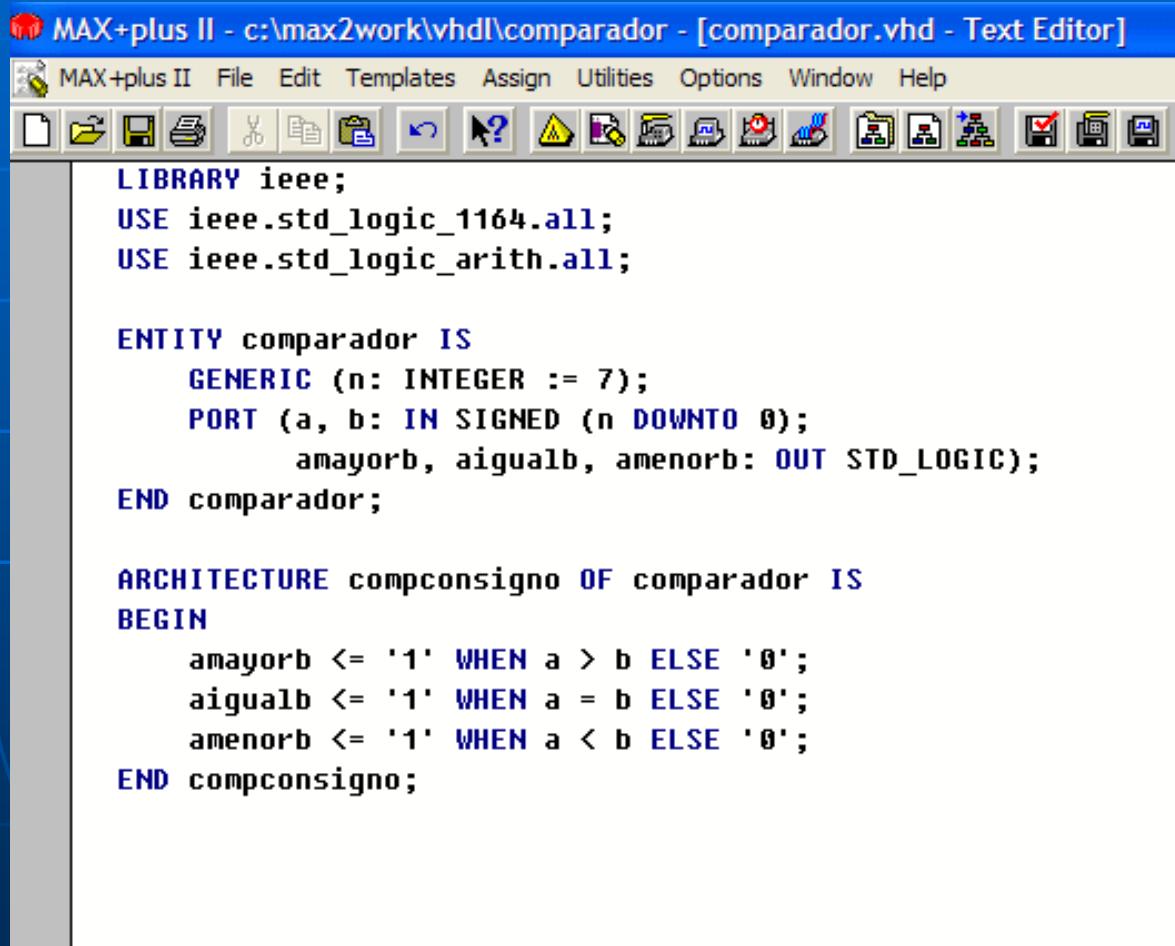
Ejemplo: Diseño de Shifter aritmético de 8 bits a izquierda.

## Simulación



# Diseño de comparadores

Ejemplo: Diseño de comparador binario con signo en punto fijo de dos números “a” y “b” de 8 bits de longitud de palabra



The screenshot shows the MAX+plus II software interface with a Text Editor window open. The window title is "MAX+plus II - c:\max2work\vhdl\comparador - [comparador.vhd - Text Editor]". The menu bar includes File, Edit, Templates, Assign, Utilities, Options, Window, and Help. The toolbar below the menu contains various icons for file operations and design tools. The code in the editor is as follows:

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;
USE ieee.std_logic_arith.all;

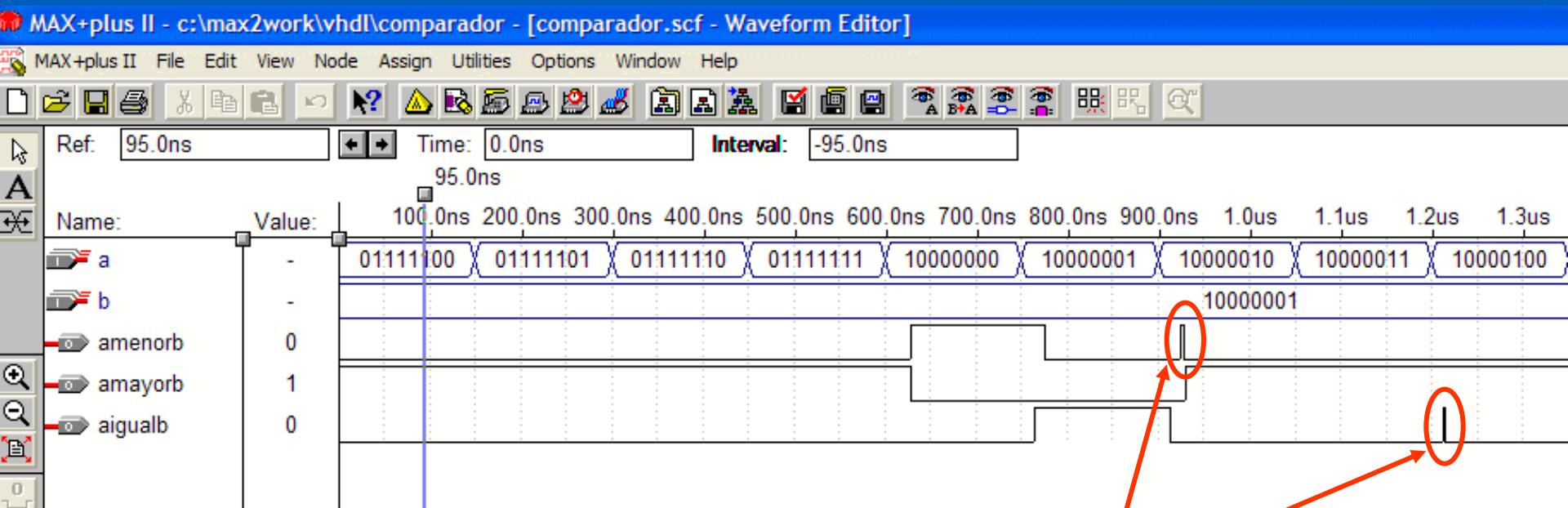
ENTITY comparador IS
    GENERIC (n: INTEGER := 7);
    PORT (a, b: IN SIGNED (n DOWNTO 0);
          amayorb, aigualb, amenorb: OUT STD_LOGIC);
END comparador;

ARCHITECTURE compconsigno OF comparador IS
BEGIN
    amayorb <= '1' WHEN a > b ELSE '0';
    aigualb <= '1' WHEN a = b ELSE '0';
    amenorb <= '1' WHEN a < b ELSE '0';
END compconsigno;
```

# Diseño de comparadores

Ejemplo: Diseño de comparador binario con signo en punto fijo de dos números “a” y “b” de 8 bits de longitud de palabra

## Simulación

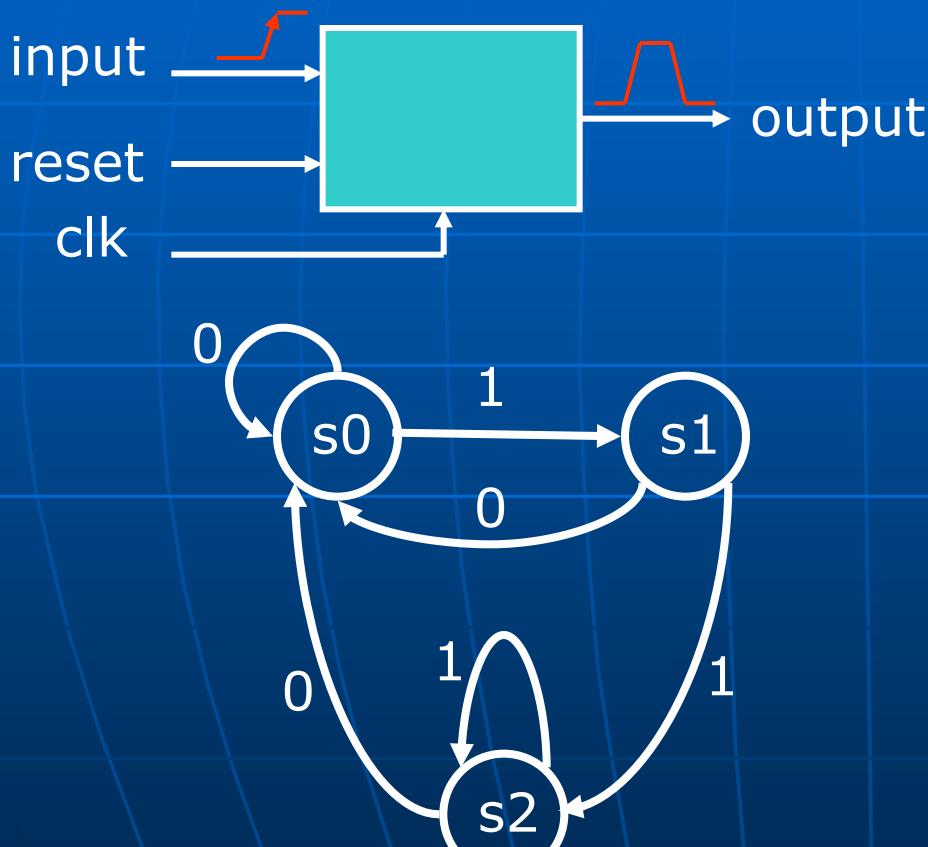


Porqué los glitches...???

Cómo se soluciona...???

# Diseño de Máquinas de Estado

Ejemplo: Diseño de un monoestable disparado por flanco ascendente empleando “Máquina de Moore”.



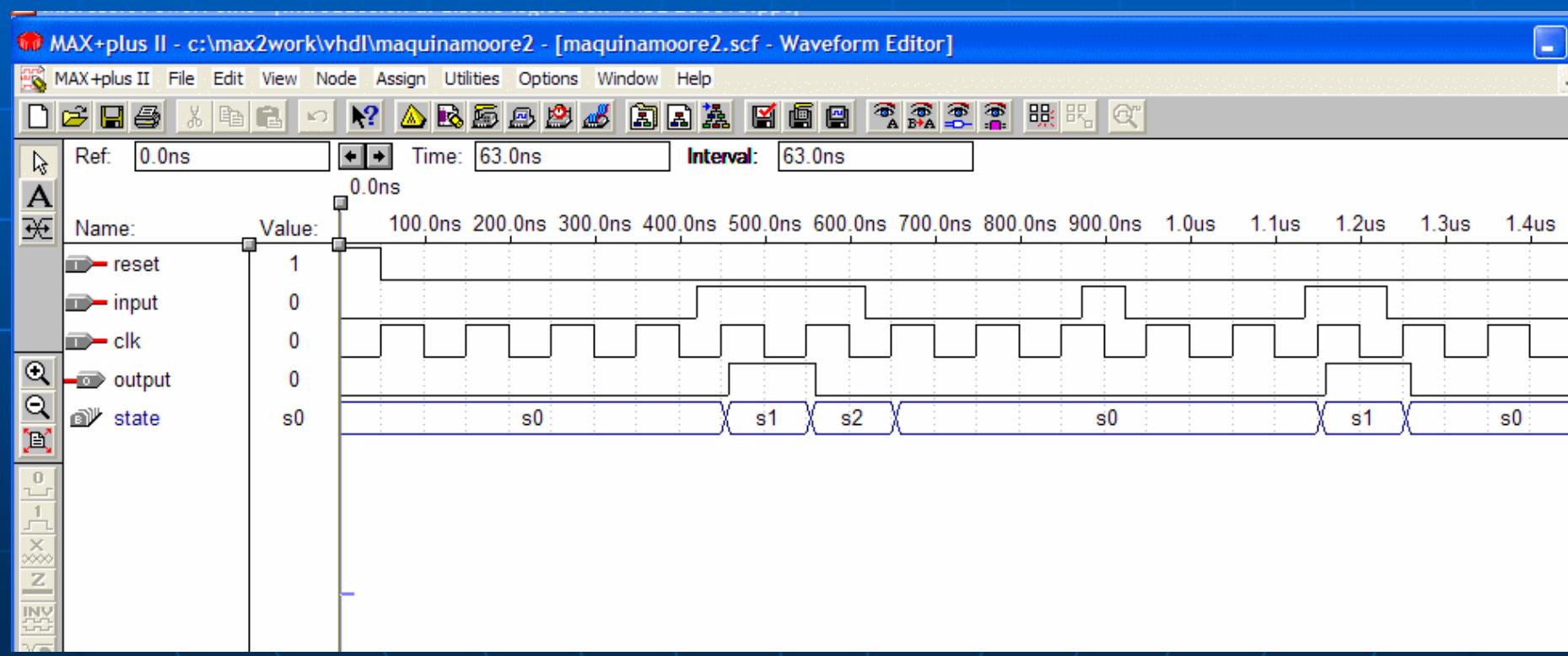
```
ENTITY maquinamooore2 IS
  PORT(
    clk      : IN      BIT;
    input    : IN      BIT;
    reset   : IN      BIT;
    output  : OUT      BIT);
END maquinamooore2;

ARCHITECTURE moore2 OF maquinamooore2 IS
  TYPE STATE_TYPE IS (s0, s1,s2);
  SIGNAL state    : STATE_TYPE;
BEGIN
  PROCESS (clk)
  BEGIN
    IF reset = '1' THEN
      state <= s0;
    ELSIF (clk'EVENT AND clk = '1') THEN
      CASE state IS
        WHEN s0=>
          IF input = '1' THEN
            state <= s1;
          ELSE
            state <= s0;
          END IF;
        WHEN s1=>
          IF input = '1' THEN
            state <= s2;
          ELSE
            state <= s0;
          END IF;
        WHEN s2=>
          IF input = '1' THEN
            state <= s2;
          ELSE
            state <= s0;
          END IF;
      END CASE;
    END IF;
  END PROCESS;
  output <= '1' WHEN state = s1 ELSE '0';
END moore2;
```

# Diseño de Máquinas de Estado

Ejemplo: Diseño de un monoestable disparado por flanco ascendente empleando “Máquina de Moore”.(continuación).

## Simulación



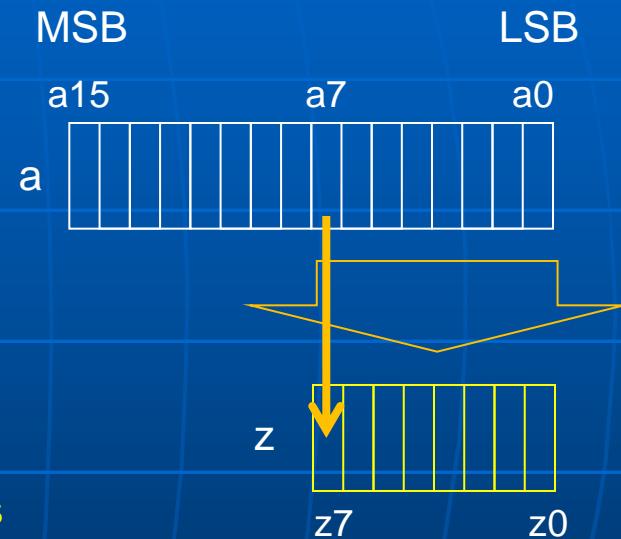
# FUNCIONES

(SÓLO ALGUNOS EJEMPLOS)

RESIZE (señales sin signo)

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
entity unsigned_resize is
    port (a : in unsigned(15 downto 0);
          z : out unsigned(7 downto 0));
end;
```

```
architecture behaviour of unsigned_resize is
begin
    z <= resize(a, 8);
end;
```

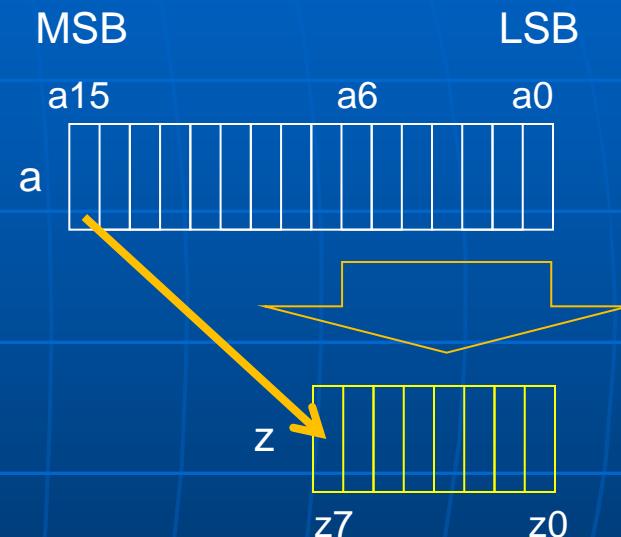


# FUNCIONES

RESIZE (señales con signo)

```
library ieee;  
use ieee.std_logic_1164.all;  
use ieee.numeric_std.all;  
entity signed_resize is  
port (a : in signed(15 downto 0);  
z : out signed(7 downto 0));  
end;
```

```
architecture behaviour of signed_resize is  
begin  
z <= resize(a, 8);  
end;
```



# FUNCIONES

## CONV\_STD\_LOGIC\_VECTOR (ARG, SIZE)

### CONVIERTE UN DATO EN STD\_LOGIC\_VECTOR

```
function conv_std_logic_vector(arg: integer, size: integer) return std_logic_vector;
function conv_std_logic_vector(arg: unsigned, size: integer) return std_logic_vector;
function conv_std_logic_vector(arg: signed, size: integer) return std_logic_vector;
function conv_std_logic_vector(arg: std_ulogic, size: integer) return std_logic_vector;
```

Si 'arg' es unsigned ó positivo es tratado como unsigned.

Si es negativo es convertido a signed en complemento a 2.

```
signal u1 : unsigned (3 downto 0);
signal s1 : signed (3 downto 0);
signal v1, v2, v3, v4 : std_logic_vector (3 downto 0);
signal i1, i2 : integer;
...
u1 <= "1101";
s1 <= "1101";
i1 <= 13;
i2 <= -3;
wait for 10 ns;
v1 <= conv_std_logic_vector(u1, 4); -- = "1101"
v2 <= conv_std_logic_vector(s1, 4);-- = "1101"
v3 <= conv_std_logic_vector(i1, 4);-- = "1101"
v4 <= conv_std_logic_vector(i2, 4);-- = "1101"
```

# FUNCIONES

CONV\_INTEGER (STD\_LOGIC\_VECTOR)

CONVIERTE UN DATO EN ENTERO

```
function conv_integer(arg: integer) return integer;
function conv_integer(arg: unsigned) return integer;
function conv_integer(arg: signed) return integer;
function conv_integer(arg: std_ulogic) return small_int;

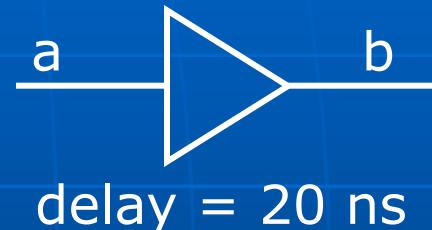
signal b : std_logic;
signal u1 : unsigned (3 downto 0);
signal s1 : signed (3 downto 0);
signal i1, i2, i3 : integer;
...
u1 <= "1001";
s1 <= "1001";
b <= 'X';
wait for 10 ns;
i1 <= conv_integer(u1); -- 9
i2 <= conv_integer(s1); -- -7
i3 <= conv_integer(b); -- warning generado por el simulador (valor indefinido)
```

## MODELADO POR COMPORTAMIENTO

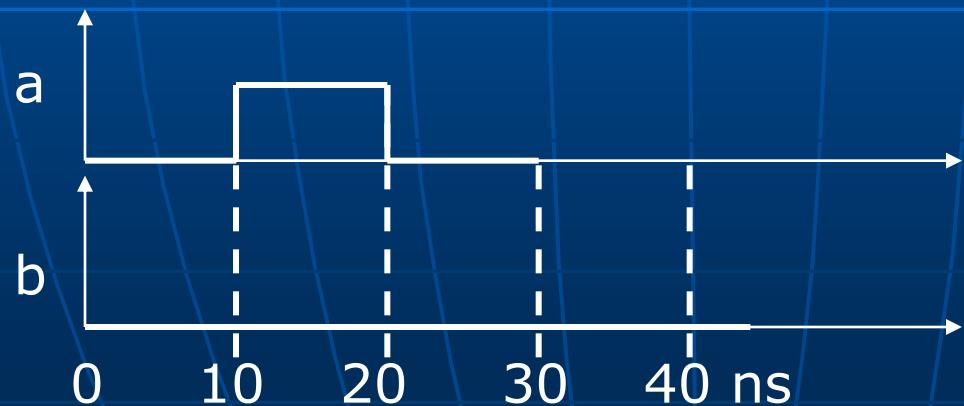
```
LIBRARY IEEE;  
USE IEEE.std_logic_1164.ALL;  
ENTITY buf IS  
PORT ( a : IN std_logic;  
       b : OUT std_logic);  
END buf;
```

```
ARCHITECTURE buffer_ine OF buf IS  
BEGIN  
    b <= a AFTER 20 ns;  
END buffer_ine;
```

Modelado por RETARDO INERCIAL  
(default en VHDL)



delay = 20 ns



## MODELADO POR COMPORTAMIENTO

```
LIBRARY IEEE;  
USE IEEE.std_logic_1164.ALL;  
ENTITY linea_ret IS  
PORT ( a : IN std_logic;  
       b : OUT std_logic);  
END linea_ret;
```

```
ARCHITECTURE delay_line OF buf IS  
BEGIN  
    b <= a TRANSPORT AFTER 20 ns;  
END delay_line;
```

Modelado por RETARDO de  
TRANSPORTE



delay = 20 ns



## TEST BENCH EN VHDL

Con VHDL es posible modelar no sólo el hardware sino también realizar un “banco de pruebas” (test bench) para aplicar estímulos al diseño a fin de analizar los resultados ó comparar los mismos de dos simulaciones diferentes.

VHDL es entonces además de un lenguaje de descripción de hardware un lenguaje para la definición de estímulos a los modelos descriptos en el mismo entorno de diseño.

A diferencia de los simuladores propietarios de las empresas proveedoras de dispositivos lógicos programables, los test bench realizados en VHDL permiten no sólo describir los estímulos en forma textual sino que es posible también **comparar** los resultados obtenidos al ensayar un DUT (dispositivo bajo prueba) con otros ya previamente cargados y generar entonces reportes de errores en caso de disparidad.  
Esto se denomina “simulación automática”.

## TEST BENCH EN VHDL

La simulación en VHDL permite mayor nivel de abstracción que con la síntesis.

Es posible por lo tanto modelizar el comportamiento de dispositivos sin que ellos sean luego sintetizados.

Por ejemplo en el caso de la simulación de un microprocesador donde se puede describir el comportamiento de una memoria aunque ésta no sea luego físicamente sintetizada.

Al ser VHDL un lenguaje portable es posible trabajar con simuladores de distintas empresas.

Ejemplo: El software ModelSim de Mentor Graphics.

(Existe una versión de trabajo para su uso con el Quartus II de Altera)

## TEST BENCH EN VHDL

Diagrama de flujo de las opciones de simulación con el ModelSim-Altera

Es posible realizar simulaciones del tipo:

--Funcional RTL (Register Transfer Level)

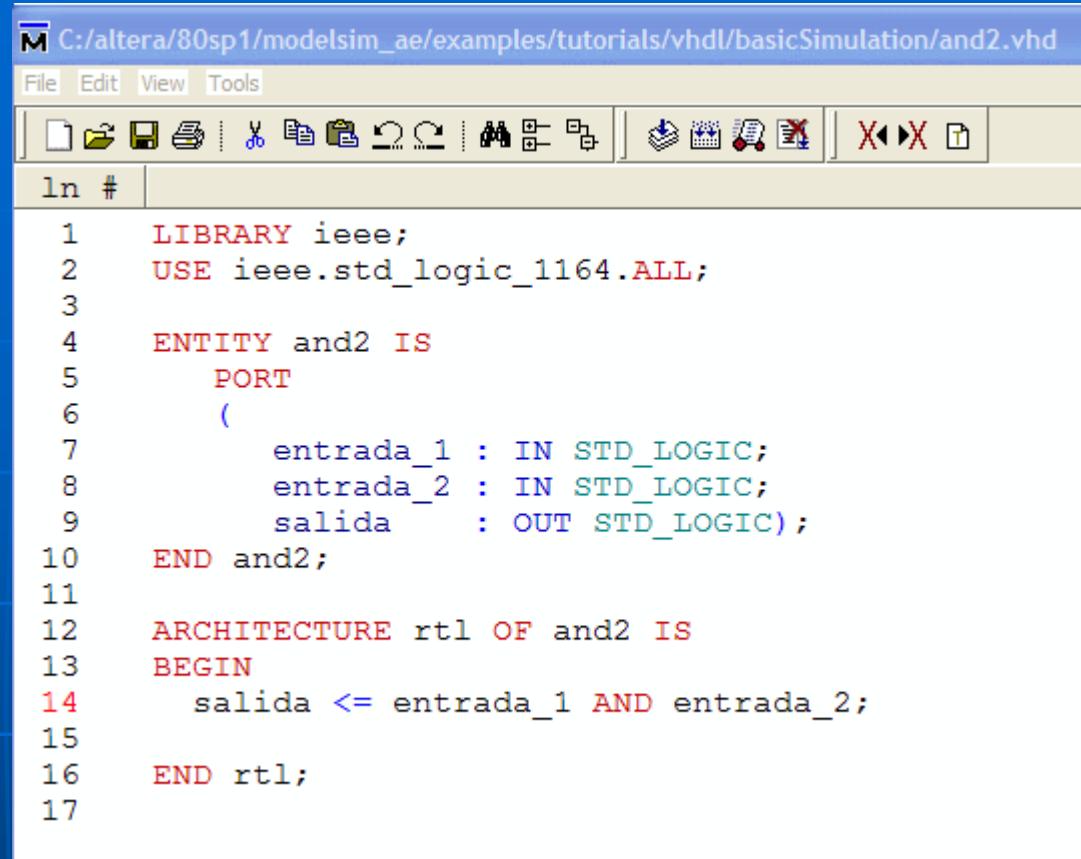
--Post-síntesis

--Post-place&route  
(simulación temporal con información de timing precisa la cual debe ser provista por el fabricante del PLD ó ASIC)

# TEST BENCH EN VHDL

Ejemplo de simulación sencilla con el software ModelSim de (Mentor Graphics)

Archivo VHDL que contiene el dispositivo a simular (and2.vhd):  
En este caso una compuerta AND de 2 entradas.



The screenshot shows the ModelSim software interface with the file path C:/altera/80sp1/modelsim\_ae/examples/tutorials/vhdl/basicSimulation/and2.vhd. The window displays the VHDL code for a 2-input AND gate:

```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3
4 ENTITY and2 IS
5     PORT
6     (
7         entrada_1 : IN STD_LOGIC;
8         entrada_2 : IN STD_LOGIC;
9         salida      : OUT STD_LOGIC);
10 END and2;
11
12 ARCHITECTURE rtl OF and2 IS
13 BEGIN
14     salida <= entrada_1 AND entrada_2;
15
16 END rtl;
17
```

# TEST BENCH EN VHDL

Ejemplo de simulación sencilla con ModelSim (continuación)

Archivo VHDL que contiene el test-bench de la and descripto anteriormente en otro archivo: (test\_and2.vhd).

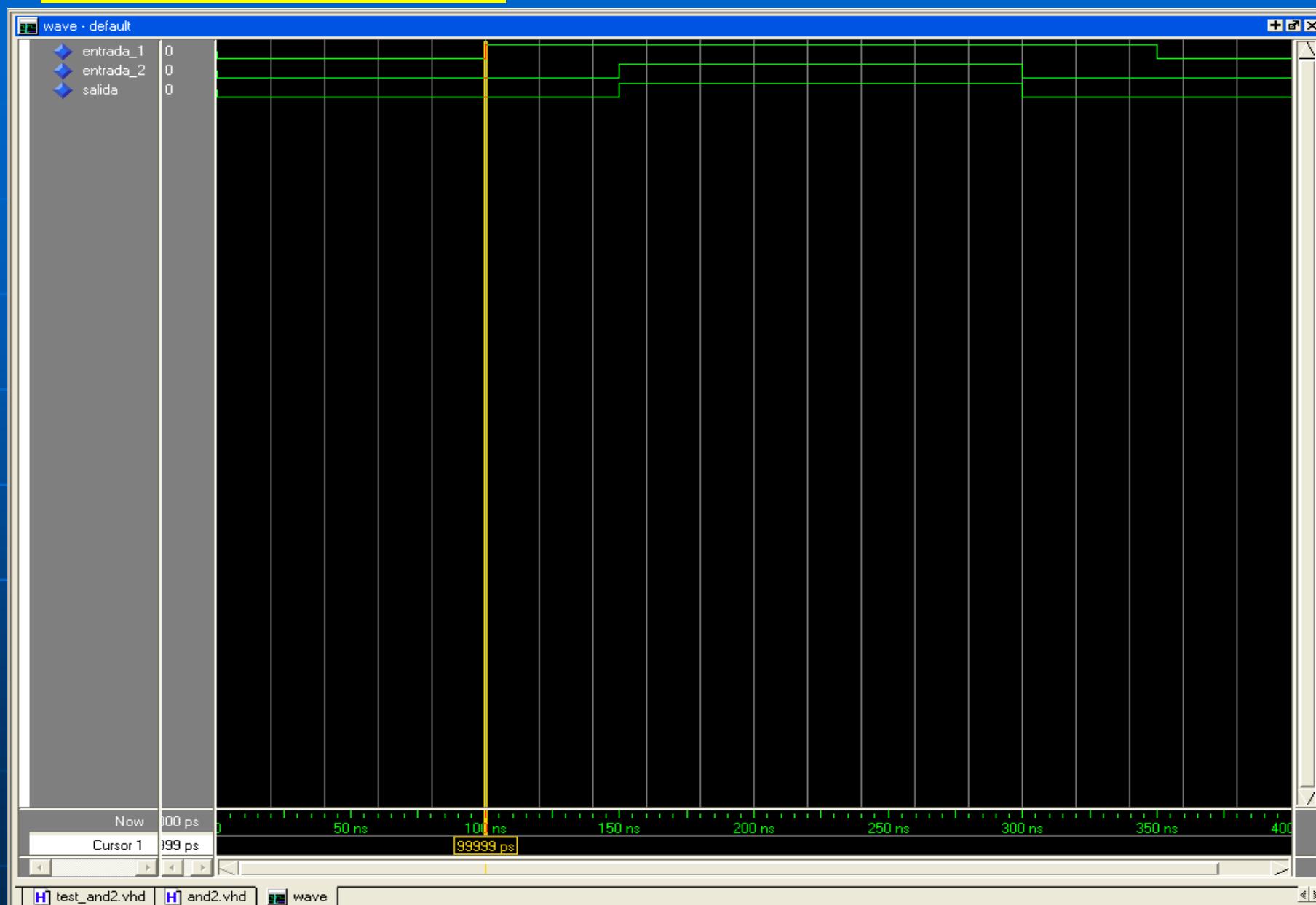
```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3
4 ENTITY test_and2 IS
5 END test_and2;
6
7 ARCHITECTURE test OF test_and2 IS
8
9 COMPONENT and2
10 PORT
11 (
12     entrada_1 : IN STD_LOGIC;
13     entrada_2 : IN STD_LOGIC;
14     salida   : OUT STD_LOGIC);
15 END COMPONENT;
16
17 SIGNAL entrada_1 : STD_LOGIC;
18 SIGNAL entrada_2 : STD_LOGIC;
19 SIGNAL salida   : STD_LOGIC;
20
21 BEGIN
22
23 dut : and2
24 PORT MAP (
25     entrada_1 => entrada_1,
26     entrada_2 => entrada_2,
27     salida  => salida );
28
29 stimulus : PROCESS
30
31 BEGIN
32     entrada_1 <= '0';
33     entrada_2 <= '0';
34     wait for 100 ns;
35     entrada_1 <= '1';
36     wait for 50 ns;
37     entrada_2 <= '1';
38     wait for 150 ns;
39     entrada_2 <= '0';
40     wait for 50 ns;
41     entrada_1 <= '0';
42 END PROCESS stimulus;
43
44 END test;
```

Sección para la generación de las señales de estímulo.

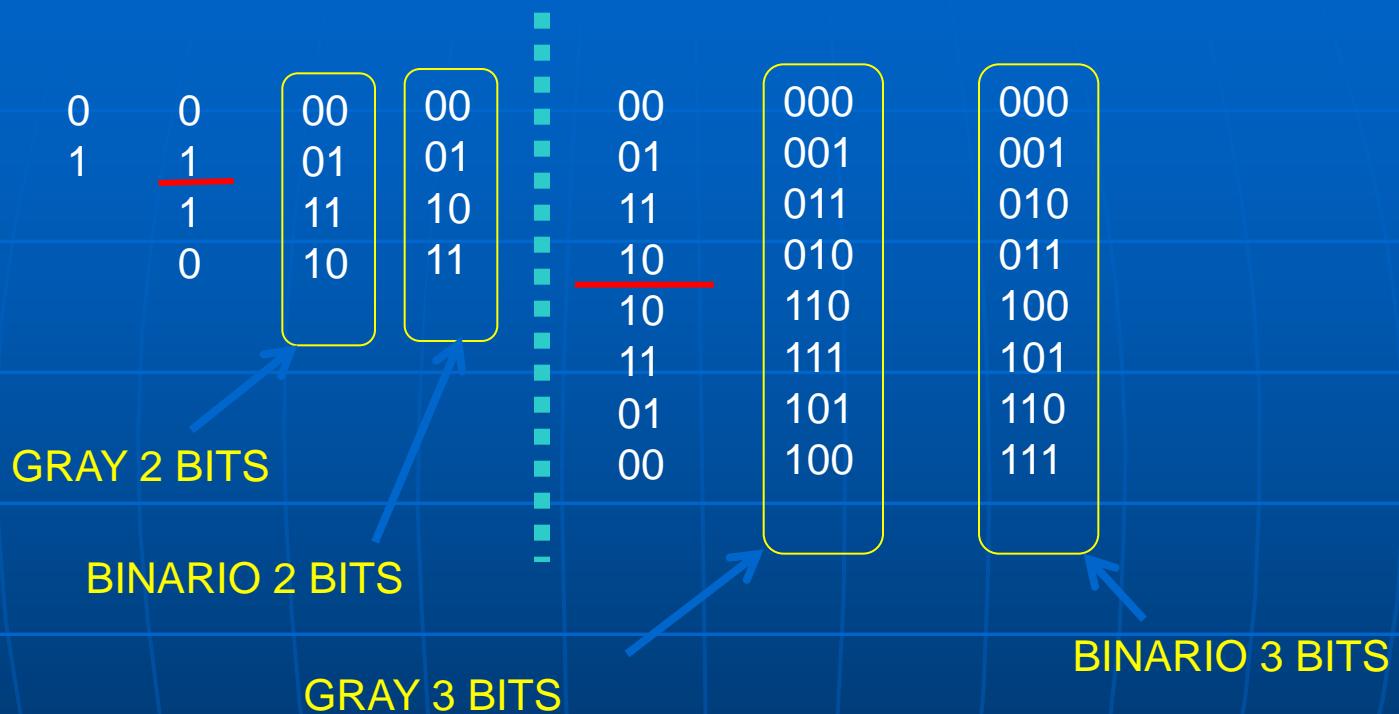
Instanciación de la entidad de la and ahora como un componente dentro de la entidad llamada "test\_and2"

# TEST BENCH EN VHDL

Ejemplo de simulación con ModelSim



## CONVERSIÓN BINARIO A GRAY



## CONCEPTO DE MEMORIA ROM (sólo lectura)

### CONVERSIÓN BINARIO A GRAY EN 3 BITS

```
bin_a_gray_3bits.vhd
1 --Conversor binario a gray en formato paralelo
2 --Noriega ISLD 2016
3 library ieee;
4 use ieee.std_logic_1164.all;
5 use ieee.numeric_std.all;
6 entity bin_a_gray_3bits is
7 port (bin      : in unsigned(2 downto 0);
8        gray     : out std_logic_vector(2 downto 0));
9 end;
10
11 architecture behaviour of bin_a_gray_3bits is
12 type memory_type is array (0 to 7) of
13 std_logic_vector(2 downto 0);
14
15 constant memory : memory_type :=
16 ("000", "001", "011", "010", "110", "111", "101", "100");
17
18 begin
19     gray <= memory(to_integer(bin));
20 end;
21
```

BIN => GRAY

000	000
001	001
010	011
011	010
100	110
101	111
110	101
111	100

Desde el punto de vista funcional, 'memory' es una memoria de sólo lectura (ROM) la cual se direcciona por 'bin' para leer la información de uno de los 8 datos almacenados en ella.

Función «to\_integer»  
Se necesita pasar a INTEGER para indexar en un ARRAY

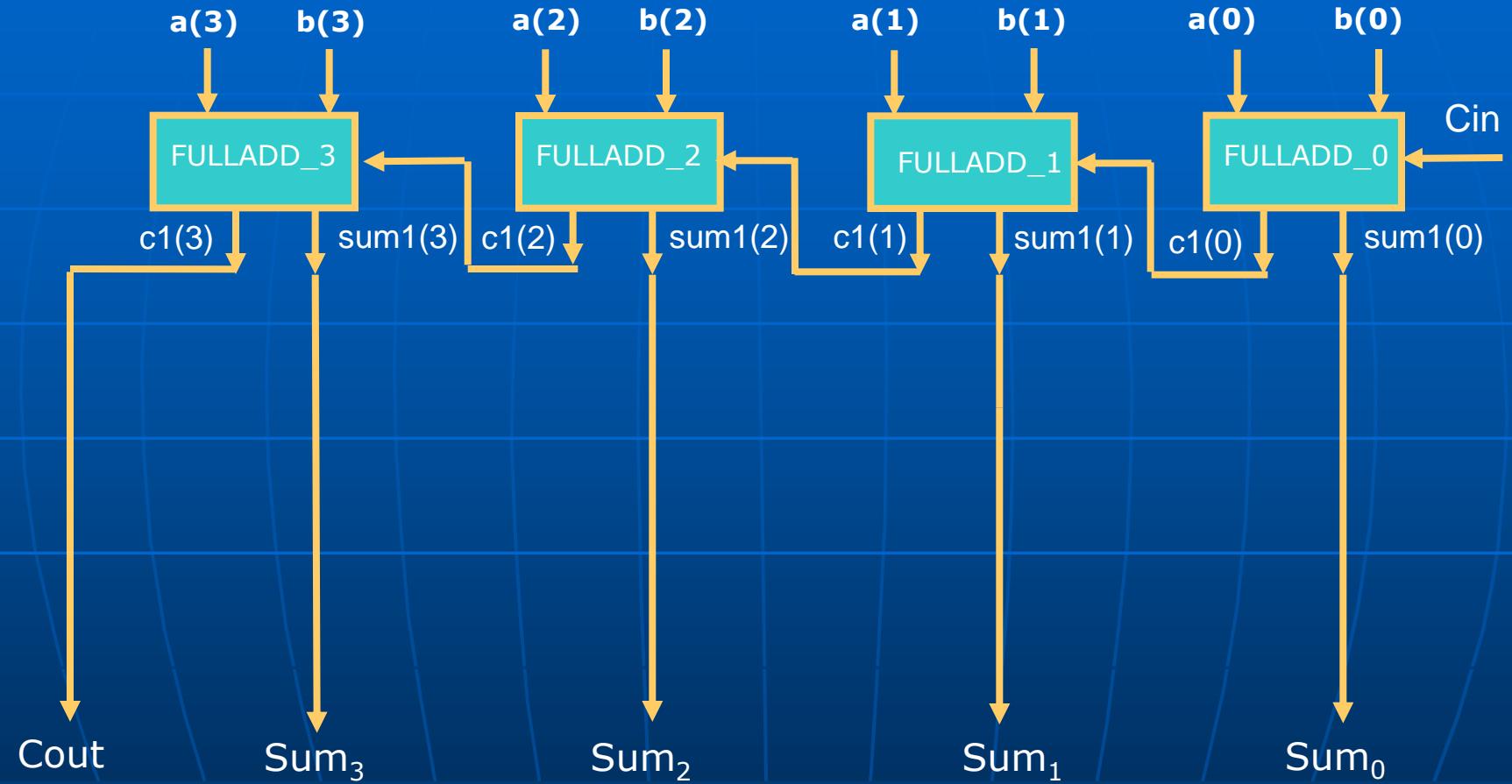
# CONVERSIÓN BINARIO A GRAY EN 3 BITS

```
abc          bin_a_gray_3bits.vhd          abc          tb_bin_a_gray_3bits.vhd
[File] [Edit] [New] [Open] [Save] [Close] [Find] [Replace] [Format] [Tools] [Help] | 267 268 ab/ | ... | Test bench en VHDL

1  LIBRARY ieee;
2  USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5  ENTITY tb_bin_a_gray_3bits IS
6  END tb_bin_a_gray_3bits;
7
8  ARCHITECTURE behavior OF tb_bin_a_gray_3bits IS
9
10 END COMPONENT;
11
12     signal bin    : unsigned(2 downto 0);
13     signal gray   : std_logic_vector(2 downto 0);
14
15 BEGIN
16
17     uut: bin_a_gray_3bits PORT MAP (bin, gray);
18
19     estimulo_proc: process
20         begin
21             for i in 0 to 7 loop
22                 bin <= to_unsigned (i,3);
23                 wait for 200 ns;
24             end loop;
25             wait;
26         end process;
27     END;
```



# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos de 4bits



## SUMADOR FULL-ADDER DE UN BIT

```
1  library IEEE;
2  use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
3
4  entity full_adder_1bit is
5    port (  x      : in std_logic;
6            y      : in std_logic;
7            ci     : in std_logic;
8            s      : out std_logic;
9            co    : out std_logic
10           );
11 end full_adder_1bit;
12
13 architecture behavior of full_adder_1bit is
14
15 begin
16
17   s  <= x xor y xor ci;
18   co <= (x and y) or (ci and (x xor y));
19
20 end;
```

# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos de 4bits

## Descripción en VHDL

```
1  --Sumador de 2 operandos de 4 bits sin signo.
2  --Tipo: Ripple-Carry en formato Paralelo.
3  --Se emplea el metodo de descripcion ESTRUCTURAL para describir el
4  --sumador Ripple-Carry formado por sumadores completos de un bit.
5  --Se emplea descripcion de COMPORTAMIENTO para describir al sumador
6  --de un bit.
7  --SERGIO NORIEGA - ISLD - 2016
8  --Nombre del archivo TOP LEVEL: sum_ripple_carry_4bits.
9  --Este archivo se emplea junto con el denominado "full_adder_1bit"
10 --el cual describe un sumador completo de 1 bit y en este proyecto
11 --sera invocado 4 veces.
12
13
14 library IEEE;
15 use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
16 use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
17
18 entity sum_ripple_carry_4bits is
19   Port ( a      : in  unsigned (3 downto 0);
20         b      : in  unsigned (3 downto 0);
21         cin    : in  std_logic;
22         cout   : out std_logic;
23         sum    : out unsigned (3 downto 0)
24       );
25 end sum_ripple_carry_4bits;
26
27 architecture Behavioral of sum_ripple_carry_4bits is
28
29 component full_adder_1bit is
30   port ( x      : in  std_logic;
31         y      : in  std_logic;
32         ci     : in  std_logic;
33         s      : out std_logic;
34         co    : out std_logic
35       );
36 end component;
37
38 signal c1,sum1,c2 : unsigned (3 downto 0) := (others => '0');
39
40 begin
41
42   fulladd_0 : full_adder_1bit port map(a(0),b(0),cin,sum1(0),c1(0));
43   fulladd_1 : full_adder_1bit port map(a(1),b(1),c1(0),sum1(1),c1(1));
44   fulladd_2 : full_adder_1bit port map(a(2),b(2),c1(1),sum1(2),c1(2));
45   fulladd_3 : full_adder_1bit port map(a(3),b(3),c1(2),sum1(3),c1(3));
46
47   sum(0) <= sum1(0);
48   sum(1) <= sum1(1);
49   sum(2) <= sum1(2);
50   sum(3) <= sum1(3);
51   cout <= c1(3);
52
53
54 end Behavioral;
```

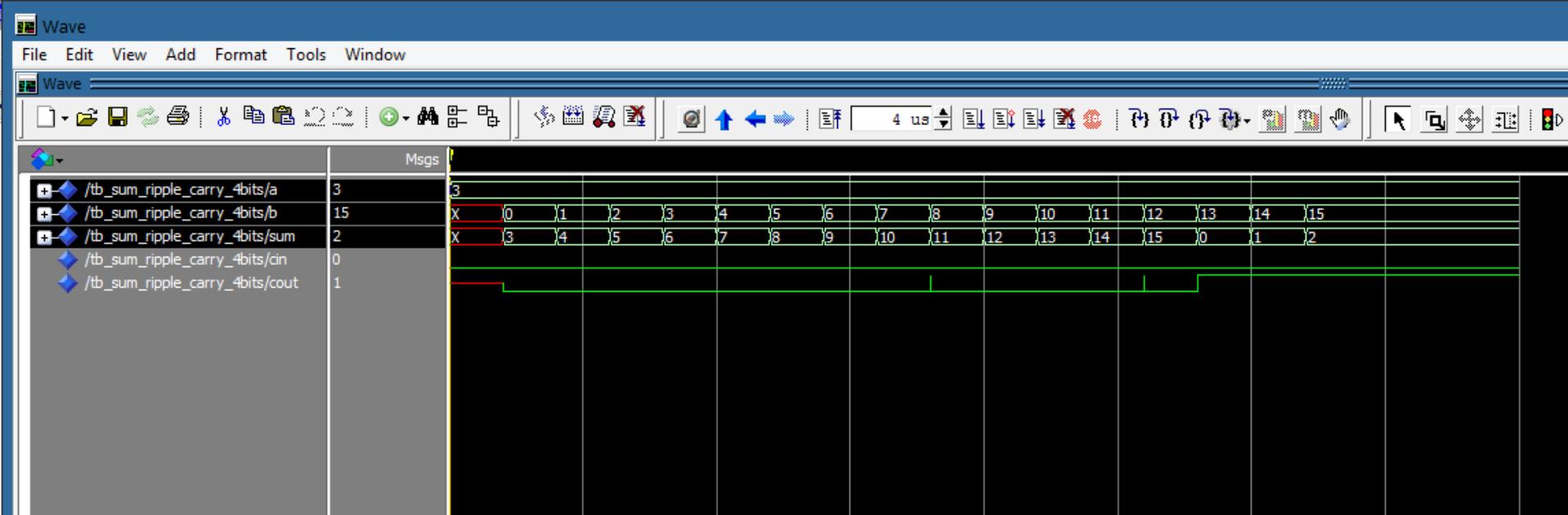
# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos de 4bits

## Test bench en VHDL

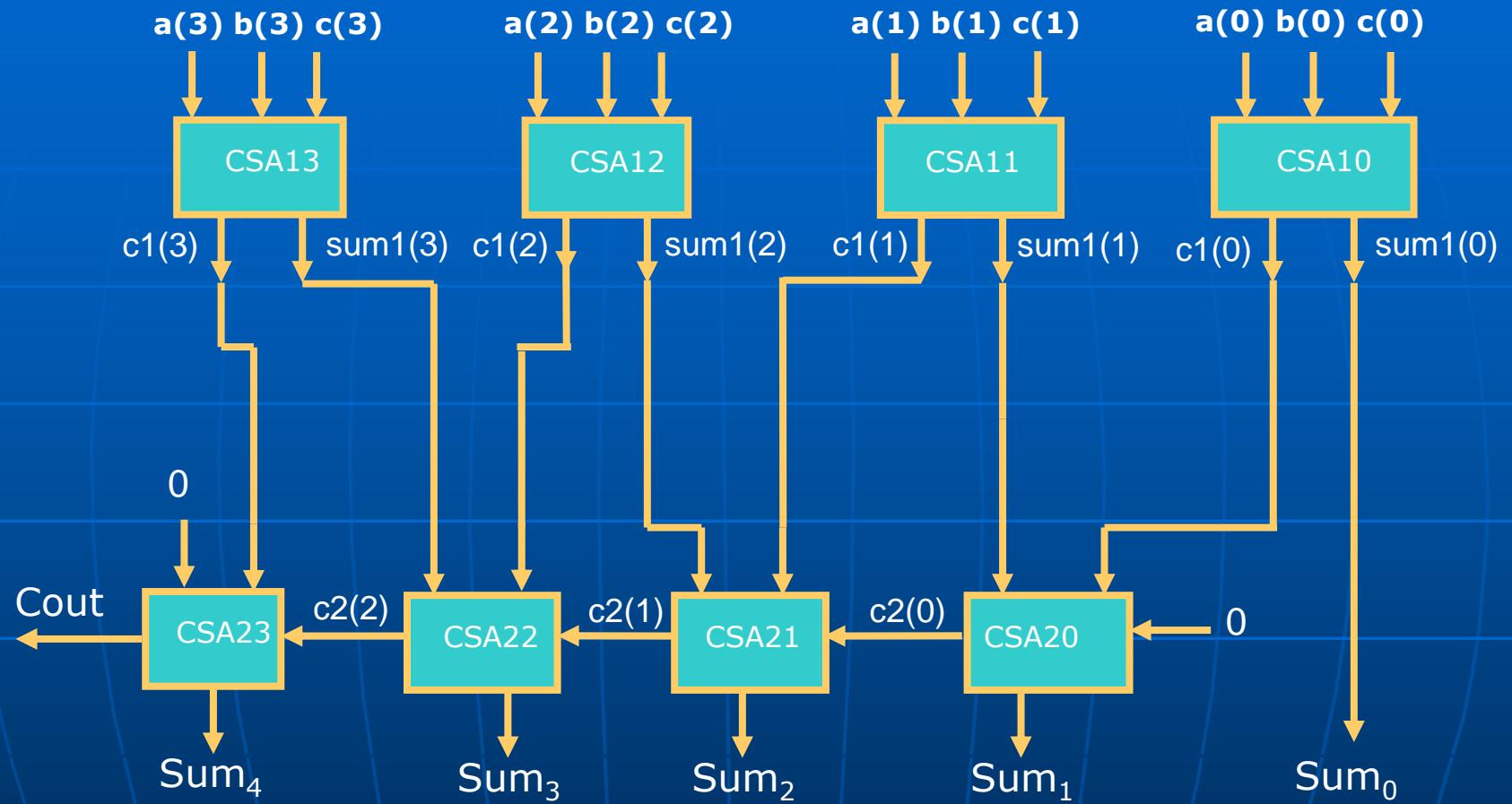
```
1  LIBRARY ieee;
2  USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5  ENTITY tb_sum_ripple_carry_4bits IS
6  END tb_sum_ripple_carry_4bits;
7
8  ARCHITECTURE behavior OF tb_sum_ripple_carry_4bits IS
9
10 COMPONENT sum_ripple_carry_4bits is
11    Port ( a      : in unsigned (3 downto 0);
12          b      : in unsigned (3 downto 0);
13          cin   : in std_logic;
14          cout  : out std_logic;
15          sum   : out unsigned (3 downto 0)
16          );
17    end COMPONENT;
18
19  signal a, b : unsigned(3 downto 0);
20  signal sum  : unsigned(3 downto 0) := (others => '0');
21  signal cin  : std_logic;
22  signal cout : std_logic := '0';
23
24 BEGIN
25
26     uut: sum_ripple_carry_4bits PORT MAP (a, b, cin, cout, sum);
27
28     estimulo_proc: process
29        begin
30            cin <= '0';
31            a <= to_unsigned (3,4);
32            for i in 0 to 15 loop
33                wait for 200 ns;
34                b <= to_unsigned(i,4);
35            end loop;
36            wait;
37        end process;
38
39    END;
```

# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos de 4bits

## Resultado de la simulación

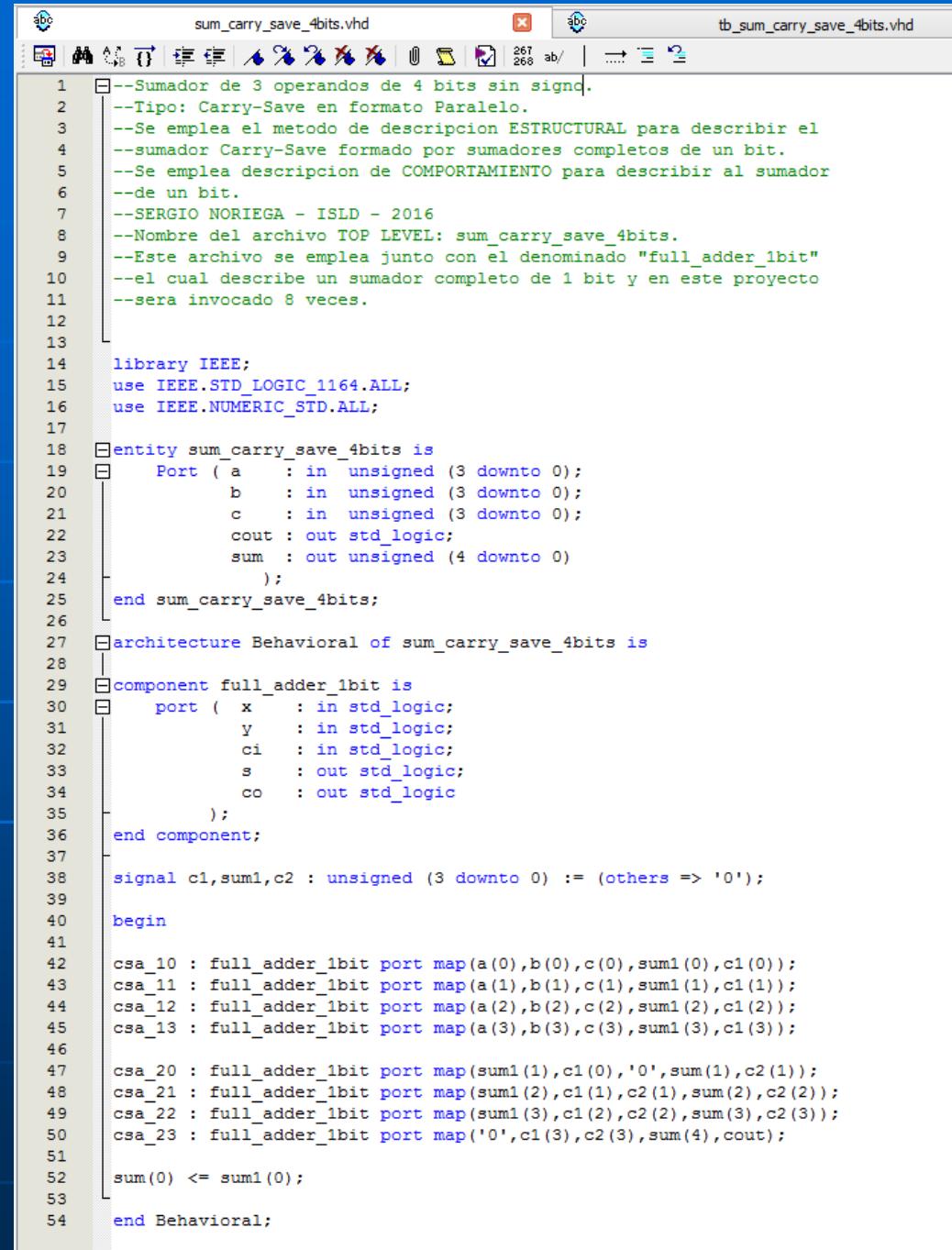


# Diseño de un sumador tipo CARRY-SAVE de 3 operandos de 4bits



# Diseño de un sumador de 3 operandos tipo carry-save

## Descripción en VHDL



The screenshot shows a VHDL editor window with the following details:

- Title Bar:** The title bar displays "sum\_carry\_save\_4bits.vhd" and "tb\_sum\_carry\_save\_4bits.vhd".
- Status Bar:** The status bar at the bottom right shows "267 ab/".
- Code Area:** The main area contains the VHDL code for the "sum\_carry\_save\_4bits" entity. The code is annotated with comments explaining the design:

  - Line 1: --Sumador de 3 operandos de 4 bits sin signo.
  - Line 2: --Tipo: Carry-Save en formato Paralelo.
  - Line 3: --Se emplea el metodo de descripcion ESTRUCTURAL para describir el
  - Line 4: --sumador Carry-Save formado por sumadores completos de un bit.
  - Line 5: --Se emplea descripcion de COMPORTAMIENTO para describir al sumador
  - Line 6: --de un bit.
  - Line 7: --SERGIO NORIEGA - ISLD - 2016
  - Line 8: --Nombre del archivo TOP LEVEL: sum\_carry\_save\_4bits.
  - Line 9: --Este archivo se emplea junto con el denominado "full\_adder\_1bit"
  - Line 10: --el cual describe un sumador completo de 1 bit y en este proyecto
  - Line 11: --sera invocado 8 veces.

- Entity Declaration:** Lines 18-25 define the entity "sum\_carry\_save\_4bits" with three input ports (a, b, c) and two output ports (cout, sum).
- Architecture:** Lines 27-54 define the "Behavioral" architecture. It includes a component declaration for "full\_adder\_1bit" with five port mappings (x, y, ci, s, co). The architecture then uses 24 instances of "full\_adder\_1bit" to build a 4-bit carry-save adder. The code includes signal declarations for c1, sum1, and c2, and a process block for the behavioral logic.

## SUMADOR FULL-ADDER DE UN BIT

```
1  library IEEE;
2  use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
3
4  entity full_adder_1bit is
5    port ( x      : in std_logic;
6          y      : in std_logic;
7          ci     : in std_logic;
8          s      : out std_logic;
9          co    : out std_logic
10         );
11 end full_adder_1bit;
12
13 architecture behavior of full_adder_1bit is
14
15 begin
16
17   s <= x xor y xor ci;
18   co <= (x and y) or (ci and (x xor y));
19
20 end;
```

# Diseño de un sumador de 3 operandos tipo carry-save

## Test bench en VHDL

The screenshot shows a VHDL testbench editor window with two tabs: "sum\_carry\_save\_4bits.vhd" and "tb\_sum\_carry\_save\_4bits.vhd". The "tb\_sum\_carry\_save\_4bits.vhd" tab is active, displaying the following VHDL code:

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.ALL;
use ieee.numeric_std.all;

ENTITY tb_sum_carry_save_4bits IS
END tb_sum_carry_save_4bits;

ARCHITECTURE behavior OF tb_sum_carry_save_4bits IS

COMPONENT sum_carry_save_4bits is
Port ( a      : in unsigned (3 downto 0);
       b      : in unsigned (3 downto 0);
       c      : in unsigned (3 downto 0);
       cout  : out std_logic;
       sum   : out unsigned (4 downto 0)
      );
end COMPONENT;

signal a, b : unsigned(3 downto 0);
signal c    : unsigned(3 downto 0) := (others => '0');
signal sum  : unsigned(4 downto 0) := (others => '0');
signal cout : std_logic := '0';

BEGIN

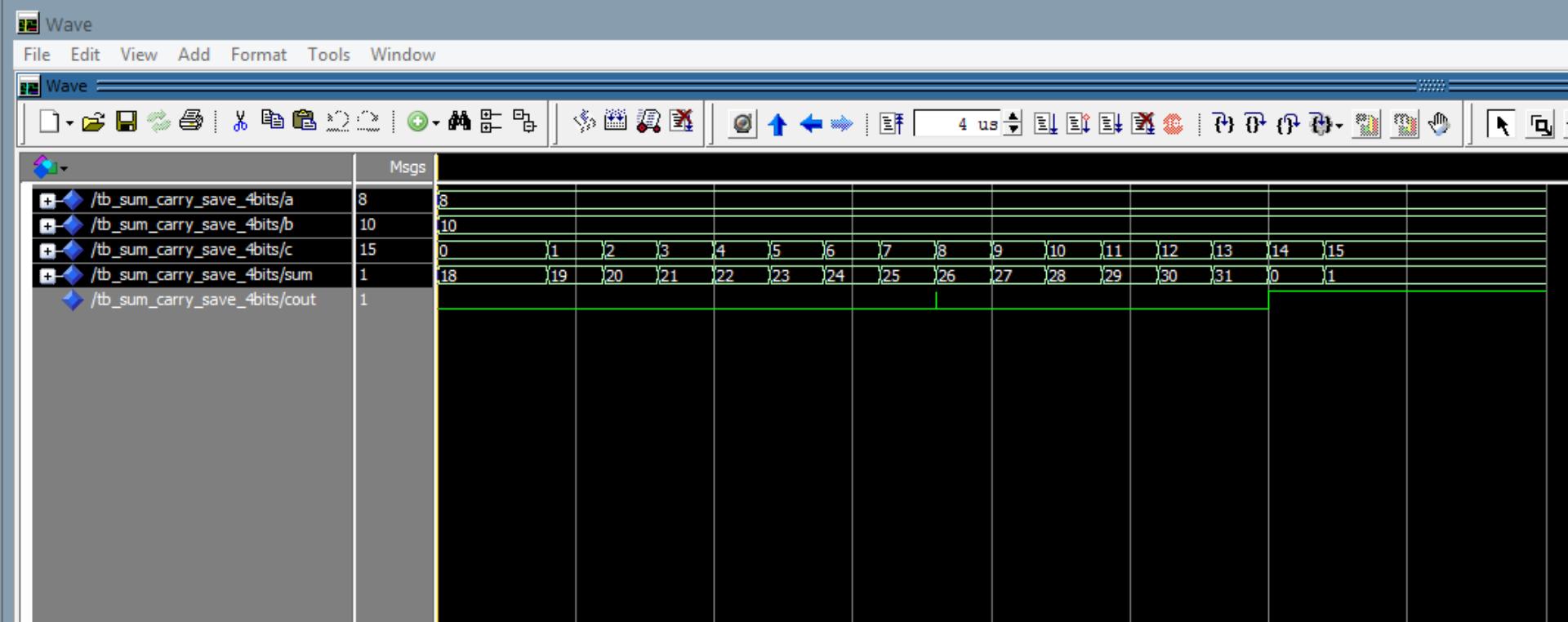
uut: sum_carry_save_4bits PORT MAP (a, b, c, cout, sum);

estimulo_proc: process
begin
    a <= to_unsigned (8,4);
    b <= to_unsigned (10,4);
    for i in 0 to 15 loop
        wait for 200 ns;
        c <= to_unsigned(i,4);
    end loop;
    wait;
end process;

END;
```

# Diseño de un sumador de 3 operandos tipo carry-save

## Resultado de la simulación



# Diseño de un complementador a 2 (CA2) tipo serie

## Descripción en VHDL

El chequear el valor de **din** después de procesar a **data\_out** dentro del proceso, hace que se modifique **data\_out** recién en el próximo ciclo de reloj, condición necesaria para ejecutar el algoritmo de complemento.

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;

entity complementador_a2_serie is
    Port ( clock      : in std_logic;
           reset      : in std_logic;
           din       : in std_logic_vector(7 downto 0);
           dout      : out std_logic_vector(7 downto 0)
    );
end complementador_a2_serie;

architecture Comportamiento of complementador_a2_serie is

    signal data_out, data_in  : std_logic_vector (7 downto 0);
    signal lock               : integer range 0 to 1:= 0;
    signal var                : integer range 0 to 8:= 0;

begin

    data_in <= din;

    process (reset, clock)
    begin
        if reset = '1' then
            var <= 0;
            lock <= 0;
        elsif (clock'event and clock = '1') then
            if var < 8 then
                if lock = 0 then data_out(var) <= din(var);
                else data_out(var) <= not din(var);
                end if;
                if din(var) = '1' then lock <= 1;
                end if;
                var <= var + 1;
            end if;
        end if;
    end process;
    dout <= data_out;
end Comportamiento;
```

# Diseño de un complementador a 2 (CA2) tipo serie

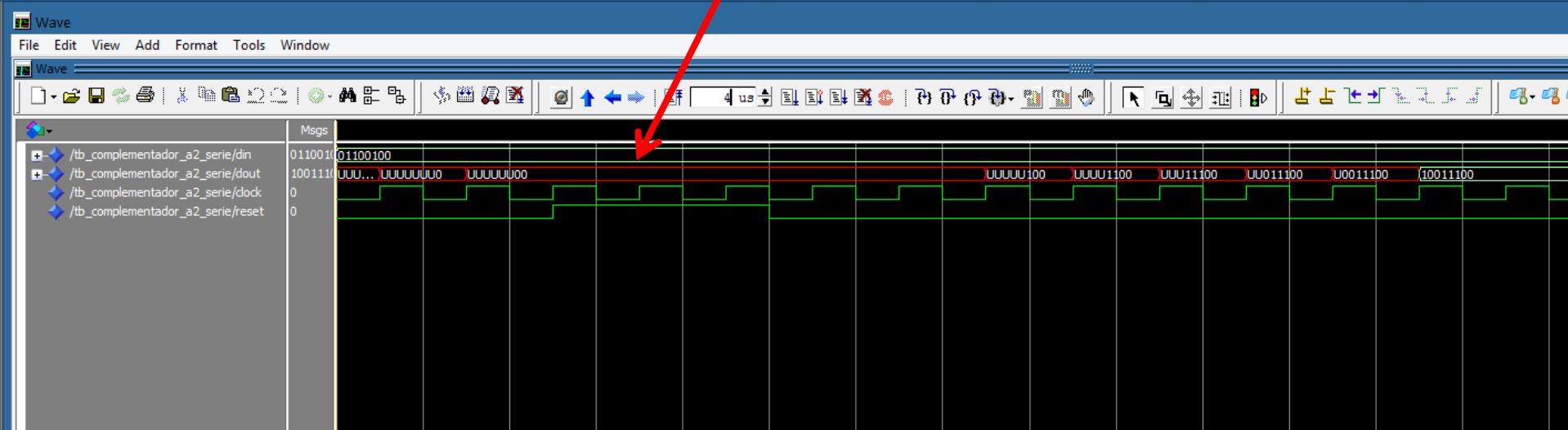
## Test bench en VHDL

```
1  library IEEE;
2  use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
3  use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.all;
4  use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.all;
5
6  entity tb_complementador_a2_serie is
7  end tb_complementador_a2_serie;
8
9  architecture test of tb_complementador_a2_serie is
10
11
12  component complementador_a2_serie
13  Port (  clock      : in std_logic;
14          reset      : in std_logic;
15          din       : in std_logic_vector (7 downto 0);
16          dout      : out std_logic_vector (7 downto 0)
17          );
18
19  end component;
20
21  signal din, dout      : STD_LOGIC_VECTOR( 7 downto 0);
22  signal clock, reset   : STD_LOGIC;
23
24
25 begin
26
27  uut: complementador_a2_serie port map  ( clock => clock, reset => reset,
28                                              din => din, dout => dout
29                                              );
30
31  gen_reloj : process -- Reloj de 200 ns de periodo y 50% de ciclo de trabajo
32  begin
33      clock <= '0';
34      wait for 100 ns;
35      clock <= '1';
36      wait for 100 ns;
37  end process gen_reloj;
38
39  estimulos : process
40
41  begin
42      din <= "01100100";
43      reset  <= '0';
44      wait for 500 ns;
45      reset  <= '1';
46      wait for 500 ns;
47      reset  <= '0';
48      wait for 4 us;
49
50  end process estimulos;
51
52 end test;
```

# Diseño de un complementador a 2 (CA2) tipo serie

## Resultado de la simulación

"U" indica "no definido"



# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos SERIE

## Descripción en VHDL

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;

entity sum_ripple_carry_serie is
    Port ( clock      : in std_logic;
           reset      : in std_logic;
           a          : in std_logic_vector (7 downto 0);
           b          : std_logic_vector(7 downto 0);
           cin        : in std_logic;
           sum        : out std_logic_vector(7 downto 0);
           cout       : out std_logic
    );
end sum_ripple_carry_serie;

architecture Comportamiento of sum_ripple_carry_serie is

    signal suma, a_in, b_in : std_logic_vector(7 downto 0);
    signal cin_in, carry   : std_logic;

begin

    a_in <= a;
    b_in <= b;
    cin_in <= cin;

    process (reset, clock)
        variable i      : integer range 0 to 8:= 0;
        begin
            if reset = '1' then
                i := 0;
                suma <= x"00";
                carry <= cin_in;
            elsif (clock'event and clock = '1') then
                if i < 8 then
                    suma(i) <= a_in(i) XOR b_in(i)XOR carry;
                    carry <= (a_in(i) AND b_in(i)) OR (carry AND (a_in(i) OR b_in(i)));
                    i := i + 1;
                end if;
            end if;
        end process;
        cout <= carry;
        sum <= suma;
    end Comportamiento;
```

# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos SERIE

## Test bench en VHDL

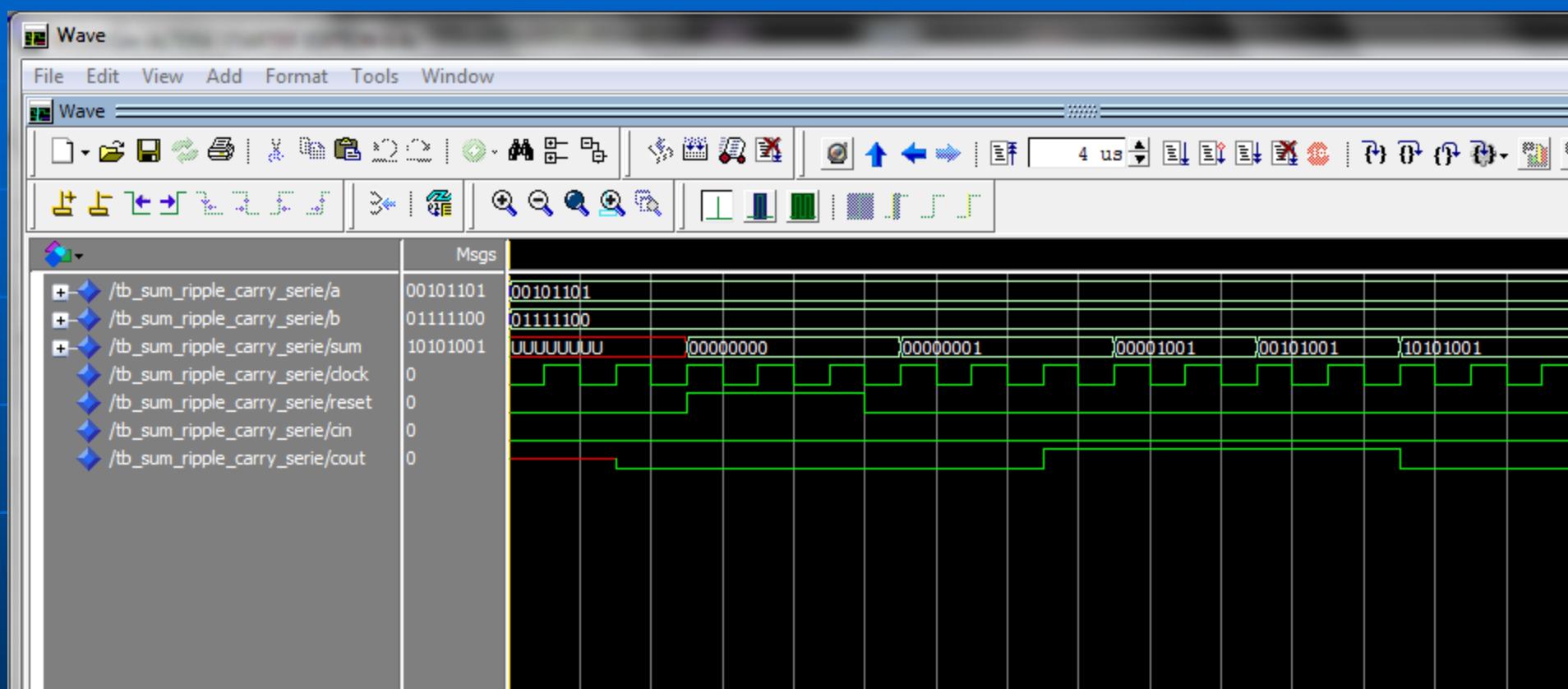
The screenshot shows a VHDL testbench named `tb_sum_ripple_carry_serie.vhd` being edited in a software interface. The code defines a testbench for a ripple-carry adder component. It includes declarations for signals, a component instantiation, a clock generation process, and a stimulus process. The code uses standard VHDL syntax with annotations for port mapping and timing specifications.

```
entity tb_sum_ripple_carry_serie is
end tb_sum_ripple_carry_serie;

architecture test of tb_sum_ripple_carry_serie is
begin
    uut: sum_ripple_carry_serie port map      ( clock => clock, reset => reset,
                                                a => a, b => b, cin => cin,
                                                sum => sum, cout => cout
                                              );
    gen_reloj : process -- Reloj de 200 ns de periodo y 50% de ciclo de trabajo
    begin
        clock <= '0';
        wait for 100 ns;
        clock <= '1';
        wait for 100 ns;
    end process gen_reloj;
    estimulos : process
    begin
        cin <= '0';
        a <= "00101101";
        b <= "01111100";
        reset <= '0';
        wait for 500 ns;
        reset <= '1';
        wait for 500 ns;
        reset <= '0';
        wait for 4 us;
    end process estimulos;
end test;
```

# Diseño de un sumador tipo RIPPLE-CARRY de 2 operandos SERIE

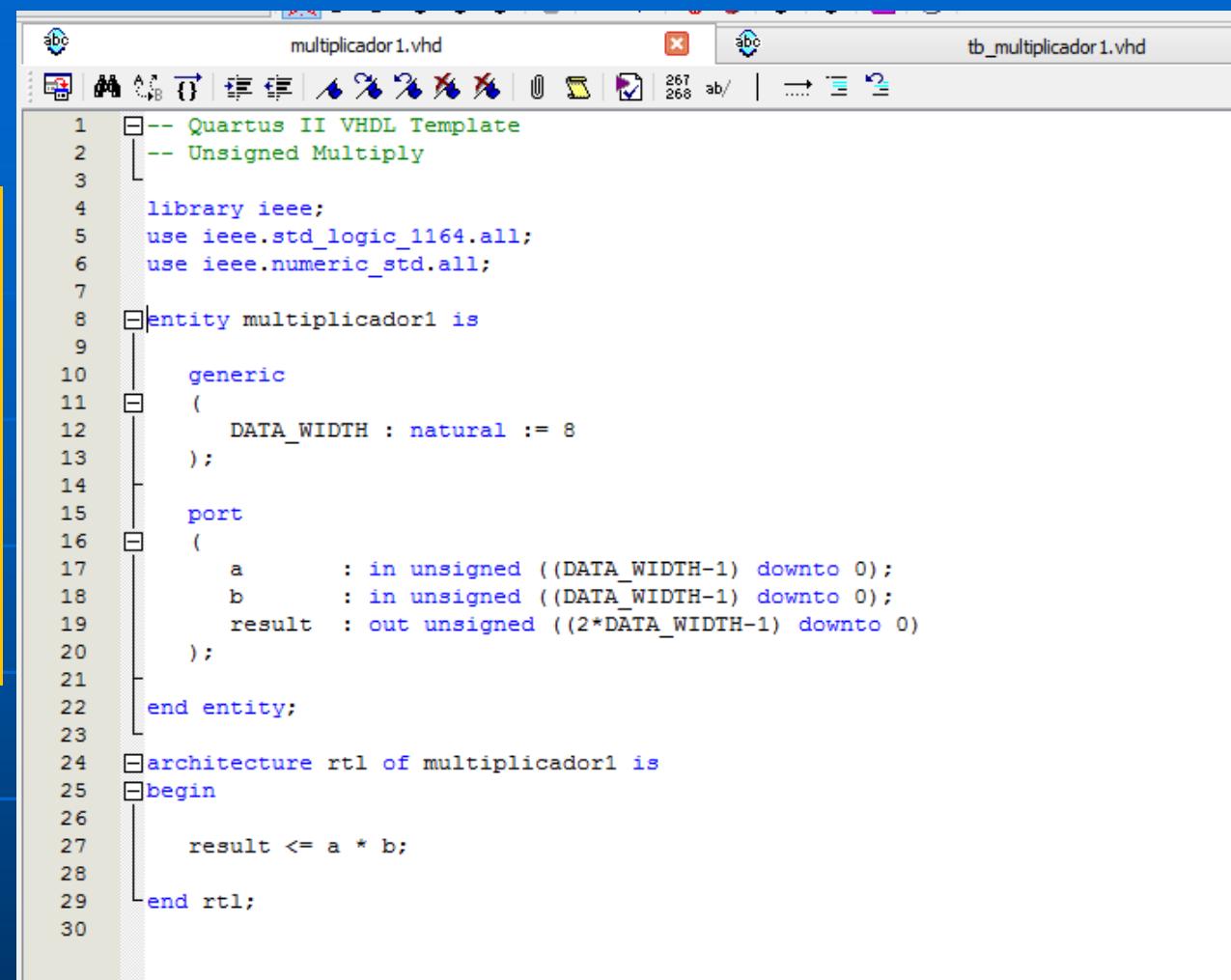
## Resultado de la simulación



## Descripción en VHDL

Usando el template se obtiene una plantilla de inicio, la cual puede ser modificada a conveniencia.

En este caso se cargó un multiplicador sin signo con longitud de palabra genérica ajustada inicialmente a 8 bits de entrada de datos.



The screenshot shows the Quartus II software interface with two windows open. The main window is titled "multiplicador1.vhd" and contains the VHDL code for a parallel unsigned multiplier. The code uses a template from Quartus II, starting with library declarations for IEEE and its sub-libraries std\_logic\_1164 and numeric\_std. It defines an entity "multiplicador1" with a generic section setting the DATA\_WIDTH to 8, and a port section with inputs "a" and "b" and an output "result". The architecture "rtl" of the entity contains a simple assignment statement "result <= a \* b;". The second window, titled "tb\_multiplicador1.vhd", is partially visible in the background. The status bar at the bottom of the interface shows file names "multiplicador1.vhd" and "tb\_multiplicador1.vhd", and line numbers 267 and 268.

```
1 -- Quartus II VHDL Template
2 -- Unsigned Multiply
3
4 library ieee;
5 use ieee.std_logic_1164.all;
6 use ieee.numeric_std.all;
7
8 entity multiplicador1 is
9
10    generic
11    (
12        DATA_WIDTH : natural := 8
13    );
14
15    port
16    (
17        a      : in unsigned ((DATA_WIDTH-1) downto 0);
18        b      : in unsigned ((DATA_WIDTH-1) downto 0);
19        result : out unsigned ((2*DATA_WIDTH-1) downto 0)
20    );
21
22 end entity;
23
24 architecture rtl of multiplicador1 is
25 begin
26
27     result <= a * b;
28
29 end rtl;
```

# Diseño de un multiplicador sin signo paralelo con «template»

## Test bench en VHDL

The screenshot shows a VHDL testbench environment with two windows:

- multiplicador1.vhd**: The main VHDL source file containing the testbench code.
- tb\_multiplicador1.vhd**: A secondary window showing the generated testbench code.

**multiplicador1.vhd Content:**

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.ALL;
use ieee.numeric_std.all;

ENTITY tb_multiplicador1 IS
    generic
    (
        DATA_WIDTH : natural := 8
    );
END tb_multiplicador1;

ARCHITECTURE behavior OF tb_multiplicador1 IS
COMPONENT multiplicador1 is
    Port ( a      : in unsigned ((DATA_WIDTH-1) downto 0);
           b      : in unsigned ((DATA_WIDTH-1) downto 0);
           result : out unsigned ((2*DATA_WIDTH-1) downto 0)
    );
end COMPONENT;

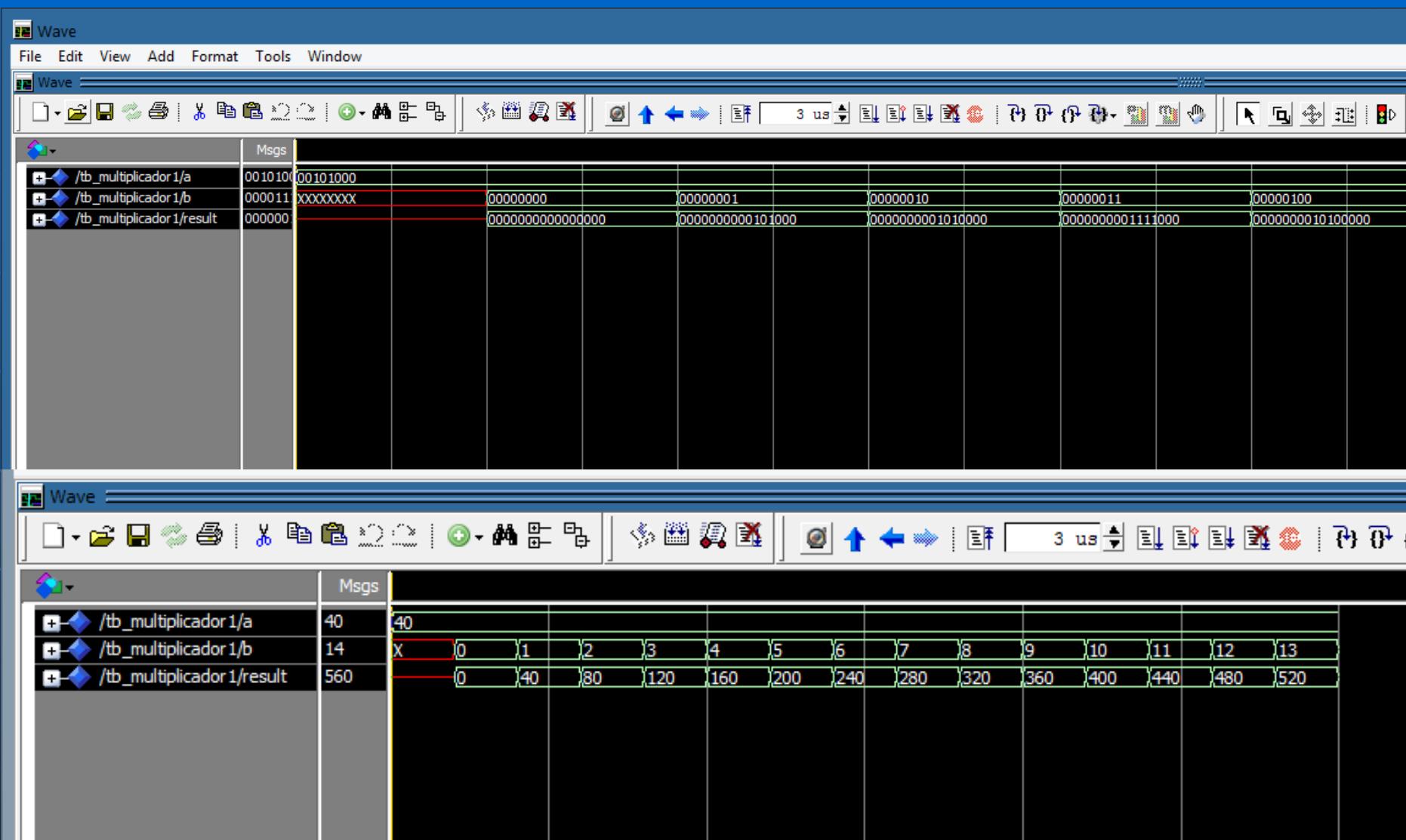
signal a, b      : unsigned((DATA_WIDTH-1) downto 0);
signal result   : unsigned((2*DATA_WIDTH-1) downto 0) := (others => '0');

BEGIN
    uut: multiplicador1 PORT MAP (a, b, result);

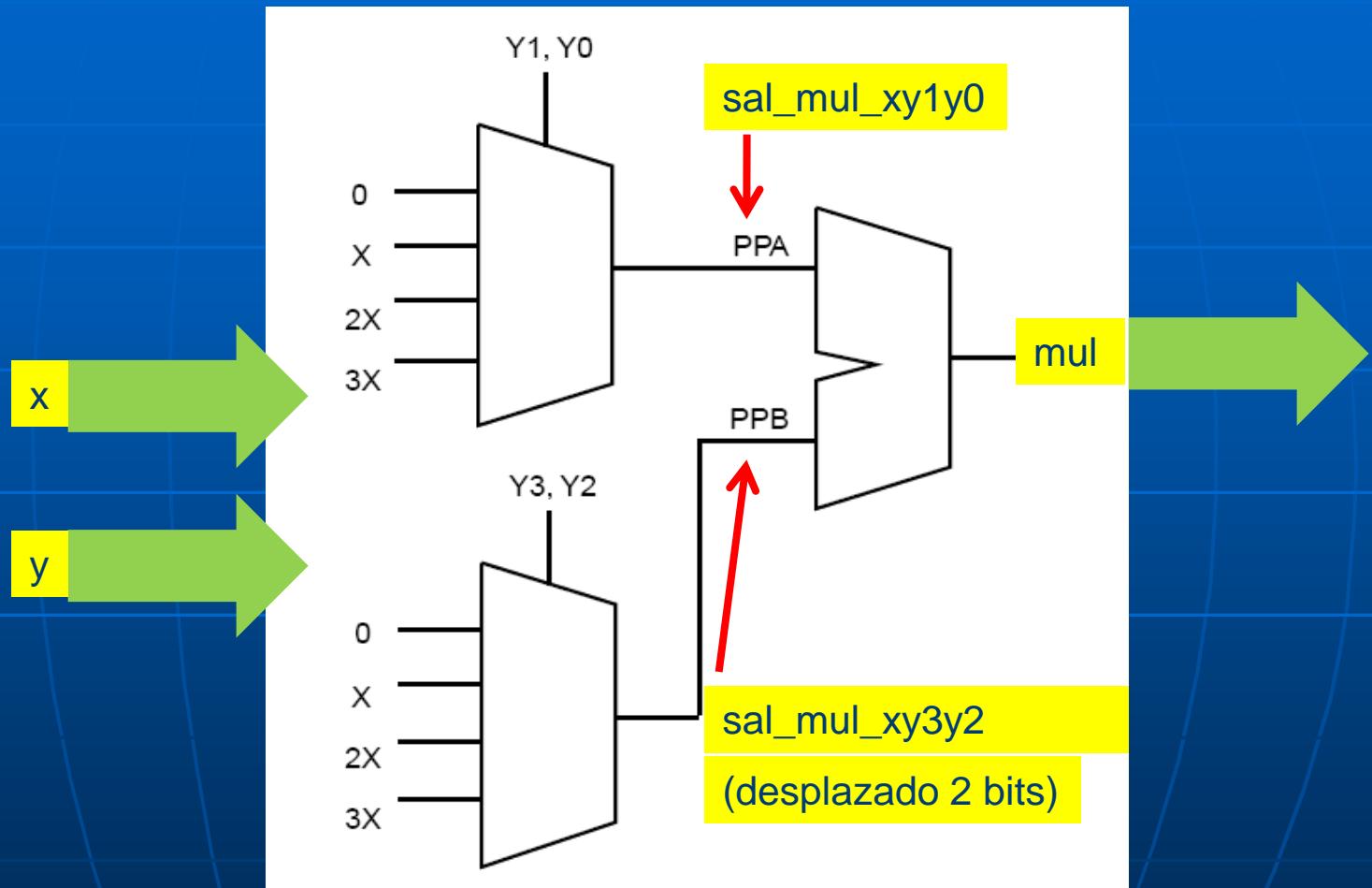
    estimulo_proc: process
        begin
            a <= to_unsigned(40,DATA_WIDTH);
            for i in 0 to 15 loop
                wait for 200 ns;
                b <= to_unsigned(i,DATA_WIDTH);
            end loop;
            wait;
        end process;
END;
```

# Diseño de un multiplicador sin signo paralelo con «template»

## Resultado de la simulación



# Diseño de un multiplicador paralelo con algoritmo de Booth de 4 bits



# Diseño de un multiplicador paralelo con algoritmo de Booth de 4 bits

```
5
6     library IEEE;
7     use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
8     use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
9
10    entity mul_booth_4bits is
11        Port ( x      : in  unsigned (3 downto 0);
12                y      : in  unsigned (3 downto 0);
13                s_xy1y0 : out unsigned (7 downto 0);
14                s_xy3y2 : out unsigned (7 downto 0);
15                mul    : out unsigned (7 downto 0)
16            );
17    end mul_booth_4bits;
18
19    architecture Behavioral of mul_booth_4bits is
20
21        signal sal_mul_x_y1y0, sal_mul_x_y3y2,xr,yr : unsigned (7 downto 0);
22        signal sal : unsigned (7 downto 0);
23
24    begin
25
26        xr <= resize(x,8);
27        yr <= resize(y,8);
28
29        mul_x_y1y0 : process (xr, yr)
30            begin
31                if ((not yr(1) and not yr(0)) = '1') then sal_mul_x_y1y0 <= "00000000";
32                elsif ((not yr(1) and yr(0))  = '1') then sal_mul_x_y1y0 <= xr;
33                elsif ((yr(1) and not yr(0)) = '1') then sal_mul_x_y1y0 <= shift_left(xr,1);
34                elsif ((yr(1) and yr(0))   = '1') then sal_mul_x_y1y0 <= xr + shift_left(xr,1);
35            end if;
36        end process;
37
38        mul_x_y3y2 : process (xr, yr)
39            begin
40                if ((not yr(3) and not yr(2)) = '1') then sal_mul_x_y3y2 <= "00000000";
41                elsif ((not yr(3) and yr(2))  = '1') then sal_mul_x_y3y2 <= xr;
42                elsif ((yr(3) and not yr(2)) = '1') then sal_mul_x_y3y2 <= shift_left(xr,1);
43                elsif ((yr(3) and yr(2))   = '1') then sal_mul_x_y3y2 <= xr + shift_left(xr,1);
44            end if;
45        end process;
46
47        --suma : process (sal_mul_x_y1y0, sal_mul_x_y3y2)
48        --    begin
49        --        sal <= sal_mul_x_y1y0 + shift_left(sal_mul_x_y3y2,2);
50        --    end process;
51        mul <= sal;
52        s_xy1y0 <= sal_mul_x_y1y0;
53        s_xy3y2 <= sal_mul_x_y3y2;
54    end Behavioral;
```

Descripción en VHDL

# Diseño de un multiplicador paralelo con algoritmo de Booth de 4 bits

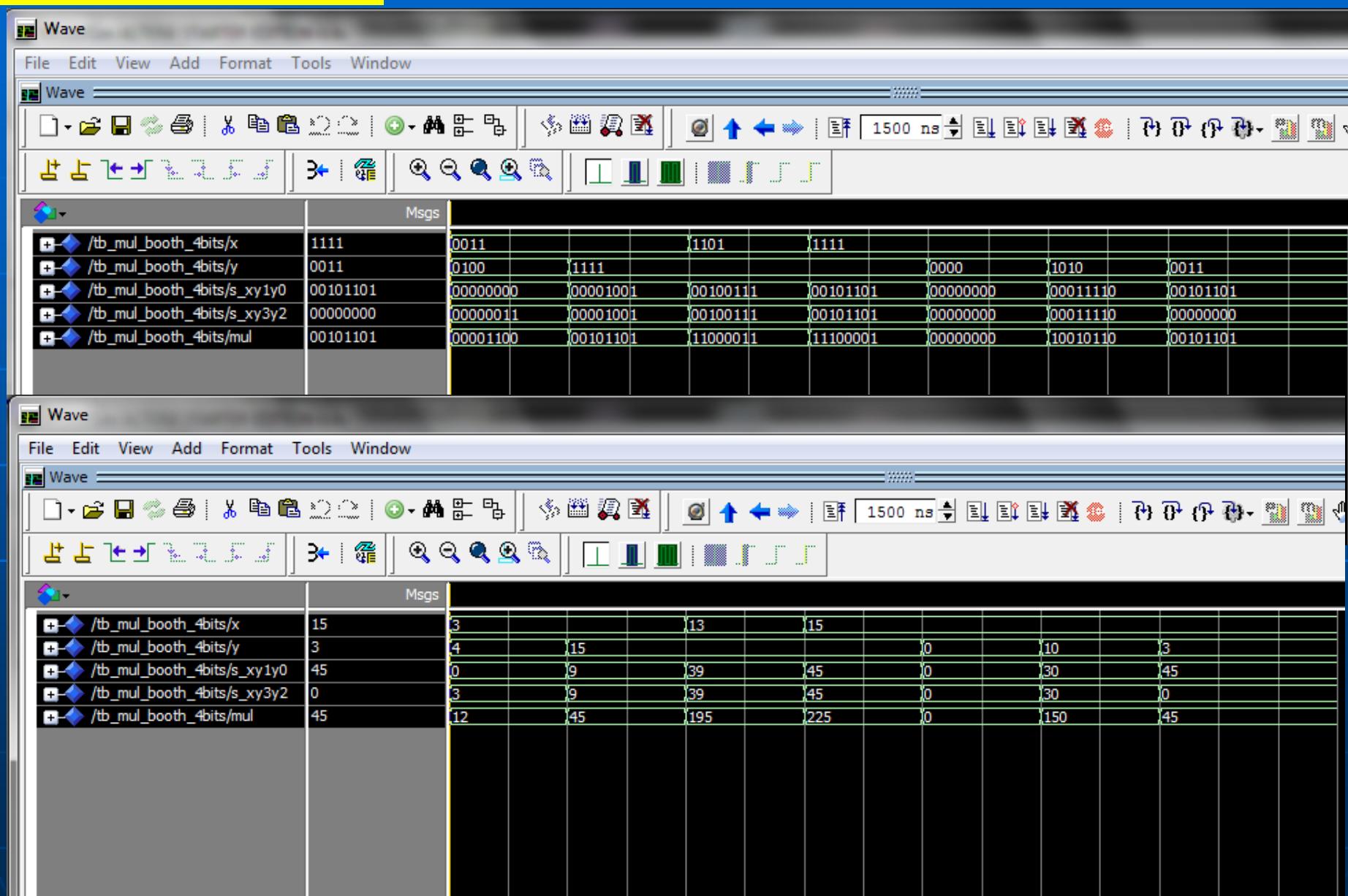
tb\_mul\_booth\_4bits.vhd

Test bench en VHDL

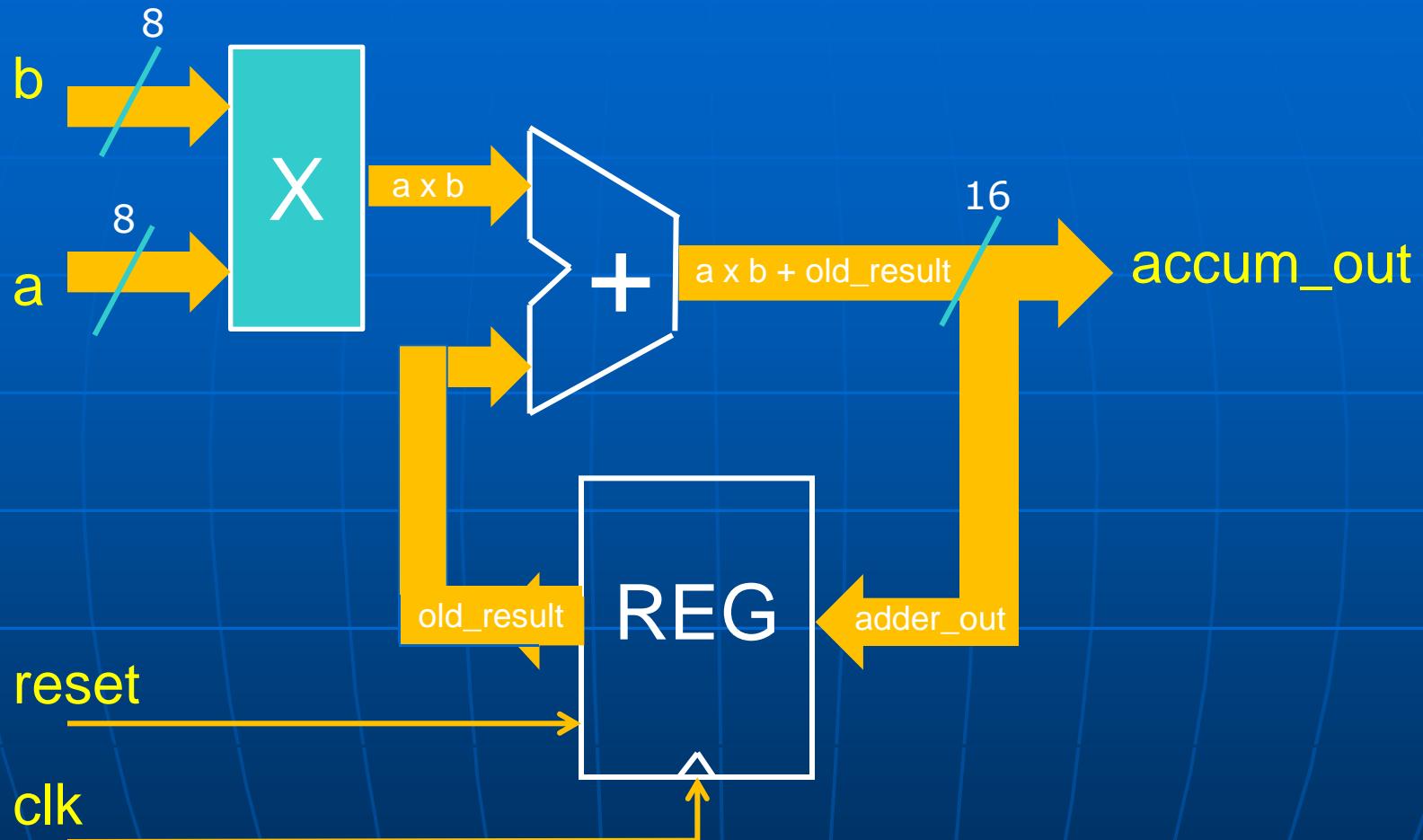
```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3 use ieee.numeric_std.all;
4
5 ENTITY tb_mul_booth_4bits IS
6 END tb_mul_booth_4bits;
7
8 ARCHITECTURE behavior OF tb_mul_booth_4bits IS
9
10 COMPONENT mul_booth_4bits is
11 Port ( x      : in unsigned (3 downto 0);
12        y      : in unsigned (3 downto 0);
13        s_xy1y0 : out unsigned (7 downto 0);
14        s_xy3y2 : out unsigned (7 downto 0);
15        mul    : out unsigned (7 downto 0)
16        );
17 end COMPONENT;
18
19 signal x, y          : unsigned(3 downto 0);
20 signal s_xy1y0, s_xy3y2 : unsigned(7| downto 0);
21 signal mul           : unsigned(7 downto 0);
22
23 BEGIN
24
25     uut: mul_booth_4bits PORT MAP (x, y, s_xy1y0, s_xy3y2, mul);
26
27     estimulo_proc: process
28         begin
29             x <= "0011";
30             y <= "0100";
31             wait for 200 ns;
32             y <= "1111";
33             wait for 200 ns;
34             x <= "1101";
35             wait for 200 ns;
36             x <= "1111";
37             wait for 200 ns;
38             y <= "0000";
39             wait for 200 ns;
40             y <= "1010";
41             wait for 200 ns;
42             y <= "0011";
43             wait;
44         end process;
45
46 END;
```

# Diseño de un multiplicador paralelo con algoritmo de Booth de 4 bits

## Resultado de la simulación

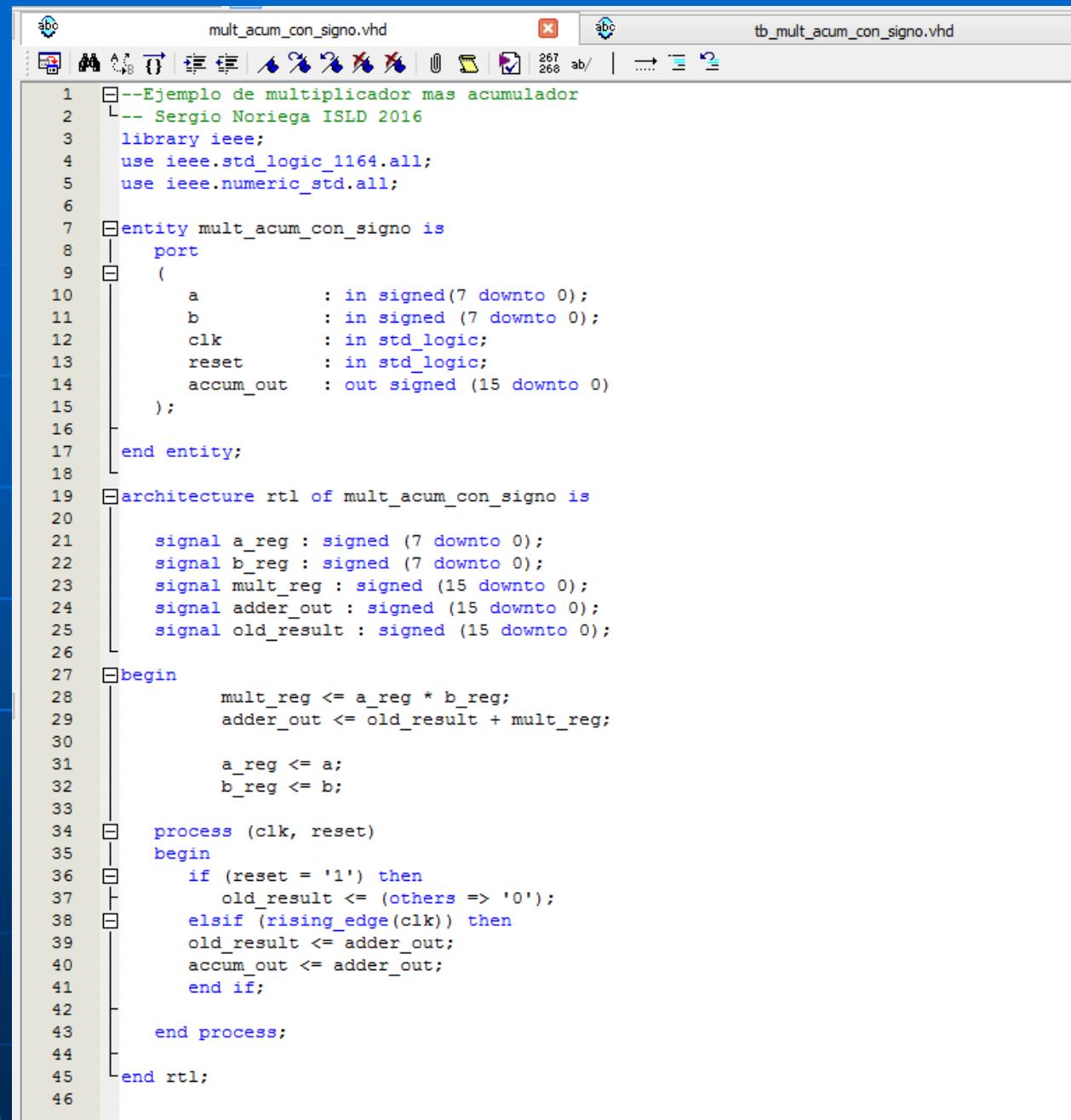


## Diseño de un multiplicador – acumulador paralelo con signo de 8 bits



# Diseño de un multiplicador – acumulador paralelo con signo de 8 bits

## Descripción en VHDL



The screenshot shows a VHDL editor window with the file `mult_acum_con_signo.vhd` open. The code implements a parallel signed multiplier-accumulator (MSA) with 8-bit sign and 15-bit magnitude. It uses IEEE standard logic packages and defines an entity `mult_acum_con_signo` with a port containing inputs `a`, `b`, `clk`, and `reset`, and output `accum_out`. The architecture `rtl` contains a process that performs multiplication and addition in parallel. A testbench file `tb_mult_acum_con_signo.vhd` is also visible in the background.

```
1 --Ejemplo de multiplicador mas acumulador
2 -- Sergio Noriega ISLD 2016
3 library ieee;
4 use ieee.std_logic_1164.all;
5 use ieee.numeric_std.all;
6
7 entity mult_acum_con_signo is
8     port
9     (
10         a          : in signed(7 downto 0);
11         b          : in signed (7 downto 0);
12         clk        : in std_logic;
13         reset      : in std_logic;
14         accum_out  : out signed (15 downto 0)
15     );
16
17 end entity;
18
19 architecture rtl of mult_acum_con_signo is
20
21     signal a_reg : signed (7 downto 0);
22     signal b_reg : signed (7 downto 0);
23     signal mult_reg : signed (15 downto 0);
24     signal adder_out : signed (15 downto 0);
25     signal old_result : signed (15 downto 0);
26
27 begin
28     mult_reg <= a_reg * b_reg;
29     adder_out <= old_result + mult_reg;
30
31     a_reg <= a;
32     b_reg <= b;
33
34     process (clk, reset)
35     begin
36         if (reset = '1') then
37             old_result <= (others => '0');
38         elsif (rising_edge(clk)) then
39             old_result <= adder_out;
40             accum_out <= adder_out;
41         end if;
42
43     end process;
44
45 end rtl;
46
```

# Diseño de un multiplicador – acumulador paralelo con signo de 8 bits

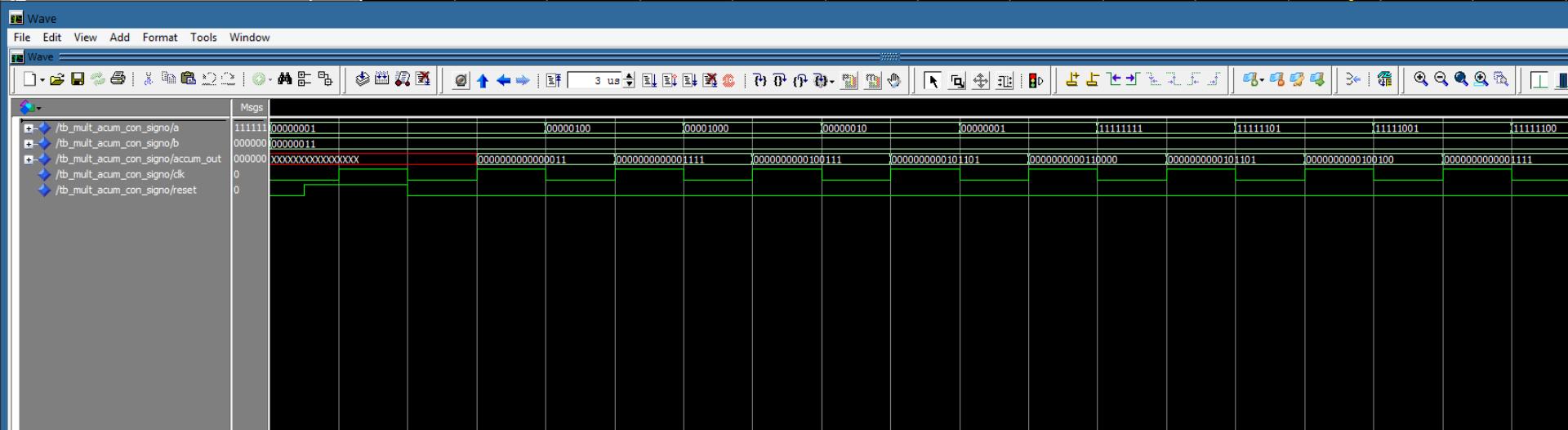
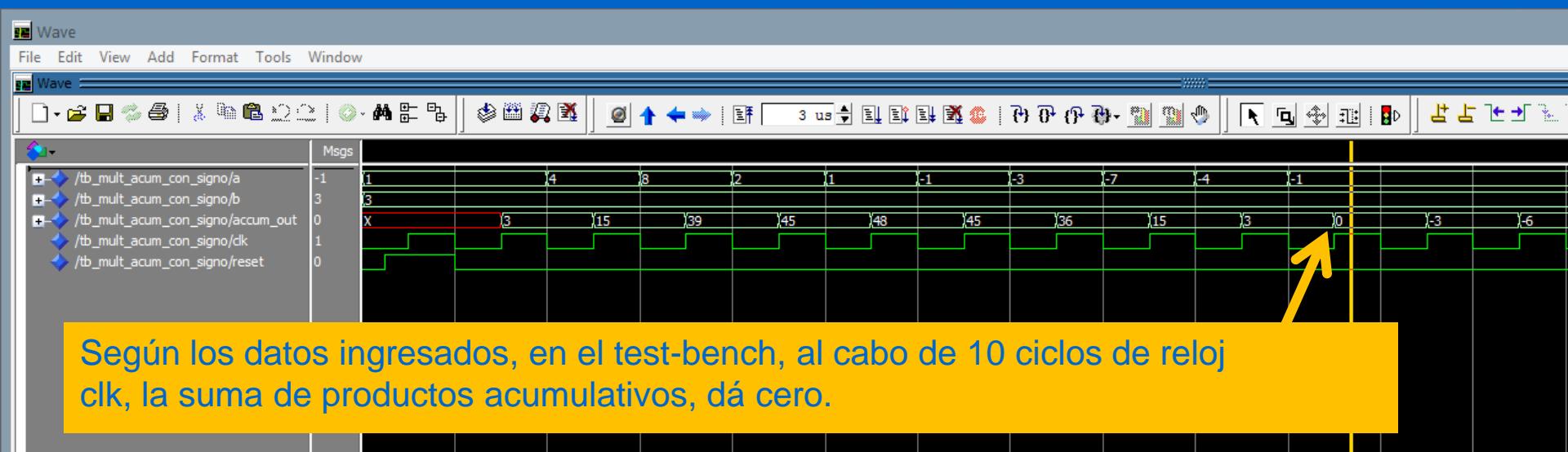
## Test bench en VHDL

En este test-bench se mantiene constante la entrada 'b' en el valor +3 y se entran 10 valores de 'a' en cincronía con el reloj:  
+1, +4, +8, +2, +1, -1, -3, -7, -4, -1.

```
mult_acum_con_signo.vhd          tb_mult_acum_con_signo.vhd
LIBRARY ieee; USE ieee.std_logic_1164.ALL; use ieee.numeric_std.all;
ENTITY tb_mult_acum_con_signo IS
END tb_mult_acum_con_signo;
ARCHITECTURE behavior OF tb_mult_acum_con_signo IS
COMPONENT mult_acum_con_signo IS
port (
    a      : in signed(7 downto 0);
    b      : in signed (7 downto 0);
    clk   : in std_logic;
    reset : in std_logic;
    accum_out : out signed (15 downto 0));
end COMPONENT;
signal a, b      : signed(7 downto 0);
signal accum_out : signed(15 downto 0);
signal clk, reset : std_logic;
type datos is array (integer range 0 to 9) of signed(7 downto 0);
BEGIN
uut: mult_acum_con_signo PORT MAP (a, b, clk, reset, accum_out);
gen_reloj : process -- Reloj de 200 ns de periodo
begin
    clk <= '0';
    wait for 100 ns;
    clk <= '1';
    wait for 100 ns;
end process gen_reloj;
estimulo_proc: process
variable muestras: datos;
begin
    muestras := ("00000001", "00000100", "00001000","00000010","00000001",
                 "11111111", "11111101", "11111001","11111100","11111111");
                 --(1, 4, 8, 2, 1, -1, -3, -7, -4, -1)
    a <= muestras (0);
    b <= "00000011";
    reset <= '0';
    wait for 50 ns;
    reset <= '1';
    wait for 150 ns;
    reset <= '0';
    wait for 200 ns;
    for i in 1 to 9 loop
        a <= muestras(i);
        wait for 200 ns;
    end loop;
    wait;
end process;
END;
```

# Diseño de un multiplicador – acumulador paralelo con signo de 8 bits

## Resultado de la simulación



## Single-Precision Format

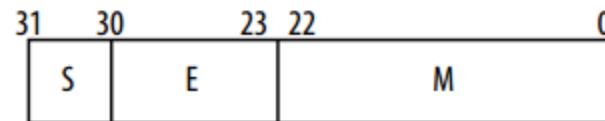
The single-precision format contains the following binary patterns:

- The MSB holds the sign bit.
- The next 8 bits hold the exponent bits.
- 23 LSBs hold the mantissa.

The total width of a floating-point number in the single-precision format is 32 bits. The bias for the single-precision format is 127.

**Figure 1-10: Single-Precision Representation**

This figure shows a single-precision representation.



Referencia: Nota de aplicación de Altera ‘Floating-Point IP Cores User Guide’: ‘ug\_altfp\_mfug.pdf’ año 2015.

# Diseño de un multiplicador en Punto Flotante Simple Precisión IEEE-754

Quartus II 64-Bit - C:/altera/10.1/multiplicador2 - multiplicador2

File Edit View Project Assignments Processing Tools Window Help

Project Navigator

Files

- multiplicador2.vhd
- multiplicador2.qip
- multiplicador2.vhd
- tb\_multiplicador2.vhd

tb\_multiplicador2.vhd

```
10
11  -- Simulation Library Files(s):
12  lpm
13  ****
14  THIS IS A WIZARD-GENERATED FILE. DO NOT
15  EDIT!
16  10.1 Build 153 11/29/2010 SJ Web Editi
17  ****
18
19
20
21  Copyright (C) 1991-2010 Altera Corporat
22  Your use of Altera Corporation's design
23  and other software and tools, and its f
24  unctions, and any output files from ar
25  (including device programming or simula
26  associated documentation or information
27  to the terms and conditions of the Alte
28  Subscription Agreement, Altera MegaCore
29  Agreement, or other applicable license
30  without limitation, that your use is fo
31  programming logic devices manufactured
32  Altera or its authorized distributors.
33  applicable agreement for further detail
34
35
36  altfp_mult CBX_AUTO_BLACKBOX="ALL" DEDI
37  VERSION_BEGIN 10.1 cbx_alt_ded_mult_y_2
38
39  LIBRARY lpm;
40  USE lpm.all;
41
42  synthesis_resources = lpm_add_sub 4 lpm
43  LIBRARY ieee;
44  USE ieee.std_logic_1164.all;
45
46  ENTITY multiplicador2_altpfp_mult.cbo IS
47  PORT
48  (
49      aclr : IN STD_LOGIC := '0';
50      clock : IN STD_LOGIC;
51      dataaa : IN STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0);
52      datab : IN STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0);
53      result : OUT STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0)
54  );
55  END multiplicador2_altpfp_mult.cbo;
56
57  ARCHITECTURE RTL OF multiplicador2_altpfp_mult.cbo IS
58
59  SIGNAL dataaa_exp_all_one_ff_p1 : STD_LOGIC
60  -- synopsys translate_off
61  := '0'
62  -- synopsys translate_on
63  ;
64  SIGNAL wire_dataaa_exp_all_one_ff_p1_w_lg_q296w : STD_LOGIC_VECTOR (0 DOWNTO 0);
```

MegaWizard Plug-In Manager - ALTFP\_MULT [Page 3 of 6]

ALTFP\_MULT

1 Parameter Settings    2 Simulation Model    3 Summary

General    Optional Ports

Currently selected device family: Cyclone IV GX    Match project/default

Floating Point Format

Single precision (32 bits)

Double precision (64 bits)

Single extended precision (43 to 64 bits)

'dataaa', 'dataab', 'result' widths: 32 bits

Exponent width: 8 bits

Mantissa width: 23 bits

Output latency: 11

Use dedicated multiplier circuitry

Resource Usage

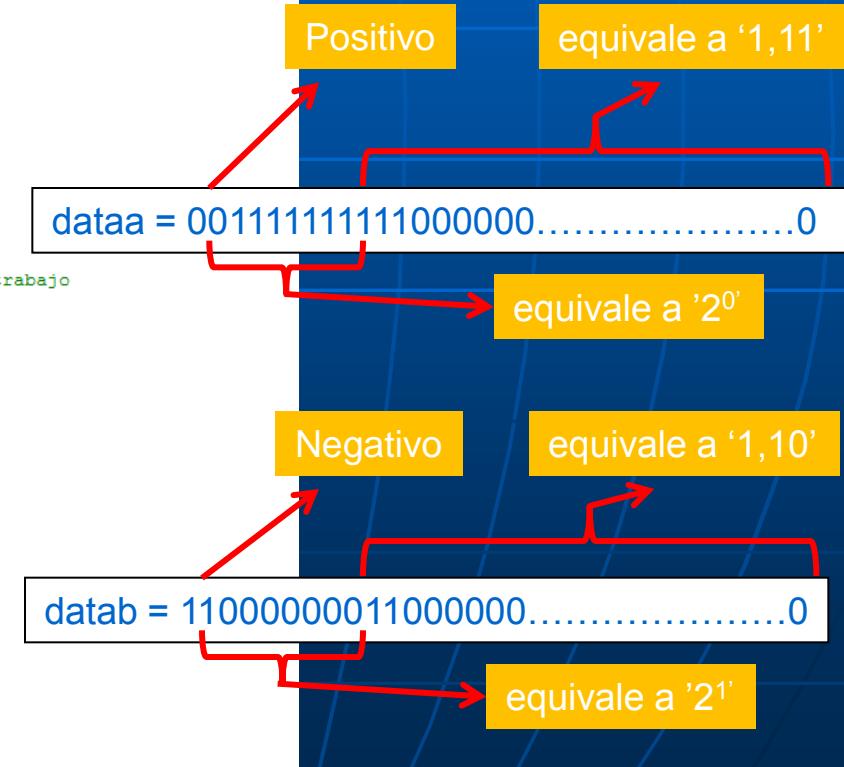
7 dsp_9bit
111 lut
464 reg

Cancel < Back Next > Finish

# Diseño de un multiplicador en Punto Flotante Simple Precisión IEEE-754

```
tb_multiplicador2.vhd          multiplicador2.qip          multiplicador2.vhd
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.ALL;
3 use ieee.numeric_std.all;
4 LIBRARY lpm;
5 USE lpm.all;
6
7 ENTITY tb_multiplicador2 IS
8 END tb_multiplicador2;
9
10 ARCHITECTURE behavior OF tb_multiplicador2 IS
11
12     COMPONENT multiplicador2 is
13         PORT
14         (
15             aclr : IN STD_LOGIC := '0';
16             clock : IN STD_LOGIC;
17             dataa : IN STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0);
18             datab : IN STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0);
19             result : OUT STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0)
20         );
21     END COMPONENT;
22
23
24
25     signal dataa, datab, result : STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0);
26     signal aclr, clock : STD_LOGIC;
27
28 BEGIN
29
30     uut: multiplicador2 PORT MAP (aclr, clock, dataa, datab, result);
31
32     gen_reloj : process -- Reloj de 20 ns de periodo y 50% de ciclo de trabajo
33     begin
34         clock <= '0';
35         wait for 100 ns;
36         clock <= '1';
37         wait for 100 ns;
38     end process gen_reloj;
39
40     estimulo_proc: process
41     begin
42         dataa <= "00111111110000000000000000000000";
43         datab <= "11000000010000000000000000000000";
44         aclr <= '0';
45         wait for 300 ns;
46         aclr <= '1';
47         wait for 150 ns;
48         aclr <= '0';
49         wait for 5 us;
50     end process;
51
52 END;
```

## Test bench en VHDL



## Resultado de la simulación

$$(1,75) \times (-3) = -5,25_{10}$$

dataa datab result



# Diseño de Unidad Aritmético-Lógica (ALU)

Ejemplo: Diseño de ALU de 8 bits con operaciones aritméticas sin signo

```
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;
USE ieee.std_logic_unsigned.all;

ENTITY alu3 IS
    PORT (a, b: IN STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0);
          sel: IN STD_LOGIC_VECTOR (4 DOWNTO 0);
          cin: IN STD_LOGIC;
          sal: OUT STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0));
END alu3;

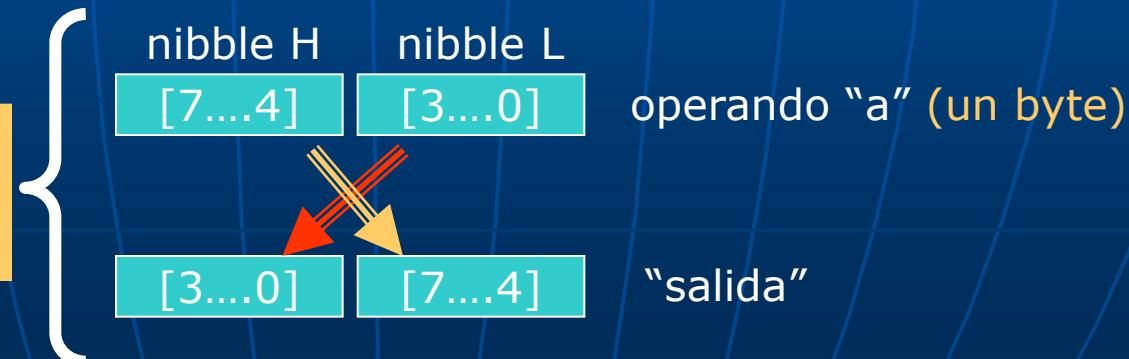
ARCHITECTURE alucomp3 OF alu3 IS
    SIGNAL aritme, logica, swap_a: STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0);
BEGIN
    swap_a(7 DOWNTO 4) <= a(3 DOWNTO 0);
    swap_a(3 DOWNTO 0) <= a(7 DOWNTO 4); }-->sentencias para implementar la operación "swap" del operando "a"
    --Sección de operaciones aritméticas (sin signo)
    WITH sel(3 DOWNTO 0) SELECT
        aritme <= a WHEN "0000",
                    a+1 WHEN "0001",
                    a-1 WHEN "0010",
                    b WHEN "0011",
                    b+1 WHEN "0100",
                    b-1 WHEN "0101",
                    a+b WHEN "0110",
                    a+b+cin WHEN "0111",
                    a-b WHEN "1000",
                    a-b-cin WHEN "1001",
                    a*b WHEN "1010",
                    a WHEN OTHERS;
                    --Transferencia del operando "a"
                    --Incremento del operando "a"
                    --Decremento del operando "a"
                    --Transferencia del operando "b"
                    --Incremento del operando "b"
                    --Decremento del operando "b"
                    --Suma sin signo
                    --Suma sin signo con carry
                    --Resta sin signo
                    --Resta sin signo con borrow
                    --Multiplicación sin signo
                    --Evita generación de lógica extra
```

# Diseño de Unidad Aritmético-Lógica (ALU)

Ejemplo: Diseño de ALU de 8 bits con operaciones aritméticas sin signo (continuación)

```
--Sección de operaciones lógicas (operaciones bit a bit)
WITH sel(3 DOWNTO 0) SELECT
    logica <= NOT a WHEN "0000",      --Negación del operando "a"
                  NOT b WHEN "0001",      --Negación del operando "b"
                  a AND b WHEN "0010",    --Operación AND e/ "a" y "b"
                  a OR b WHEN "0011",     --Operación OR e/ "a" y "b"
                  a NAND b WHEN "0100",   --Operación NAND e/ "a" y "b"
                  a NOR b WHEN "0101",    --Operación NOR e/ "a" y "b"
                  a XOR b WHEN "0110",    --Operación XOR e/ "a" y "b"
                  a XNOR b WHEN "0111",   --Operación NOT(XOR) e/ "a" y "b"
                  swap_a WHEN "1000",      --Intercambio de nibles en "a"
                  a WHEN OTHERS;         --Evita generación de lógica extra
WITH sel(4) SELECT
    sal <= aritme WHEN '0',
                  logica WHEN OTHERS;
END alucomp3;
```

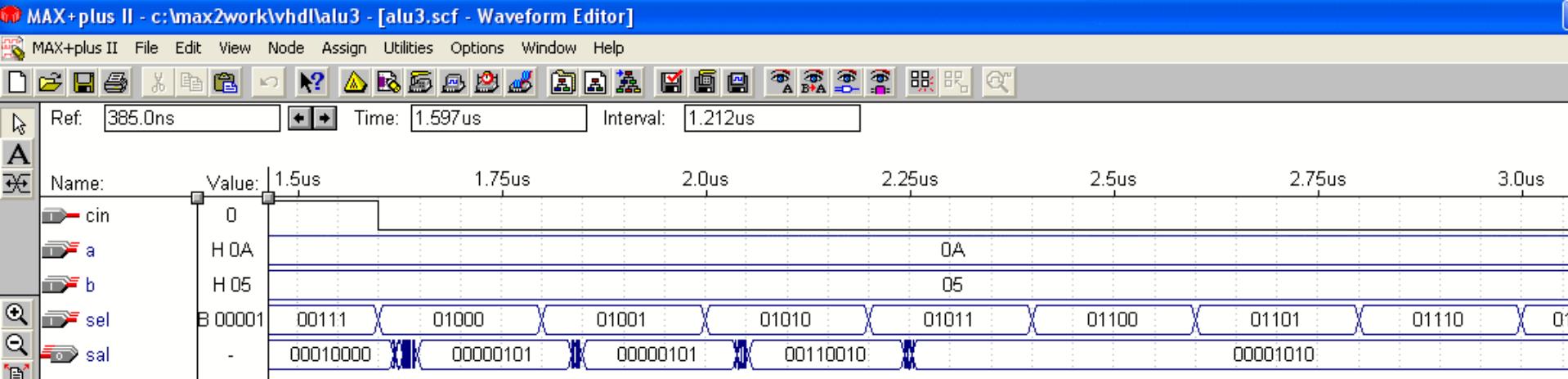
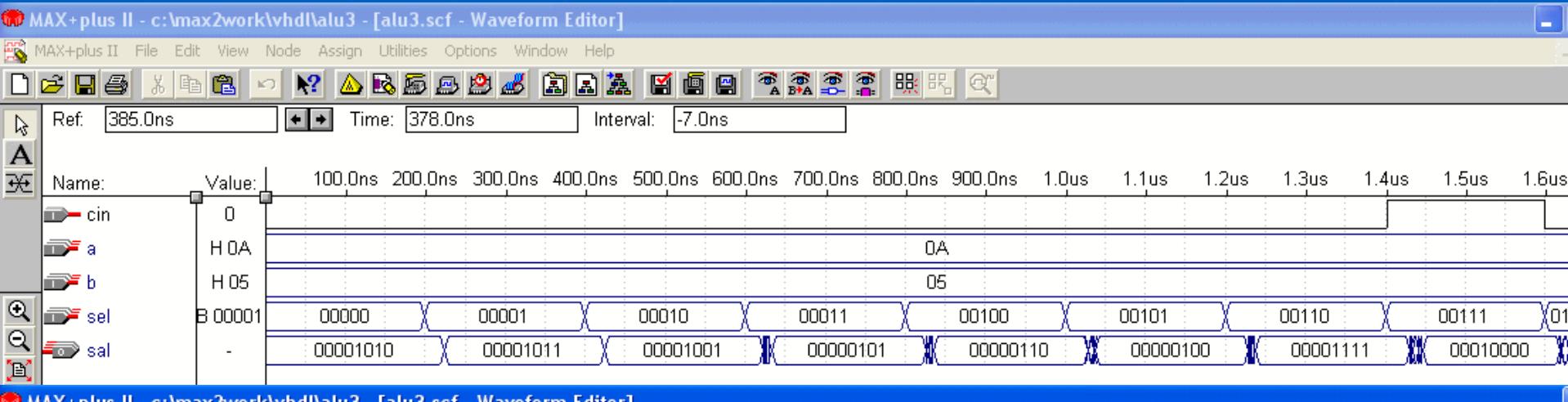
Ejemplo de operación swap para el operando "a" ("sel" = "11000")



# Diseño de Unidad Aritmético-Lógica (ALU)

Diseño de ALU de 8 bits con operaciones aritméticas sin signo (continuación)

## Simulación

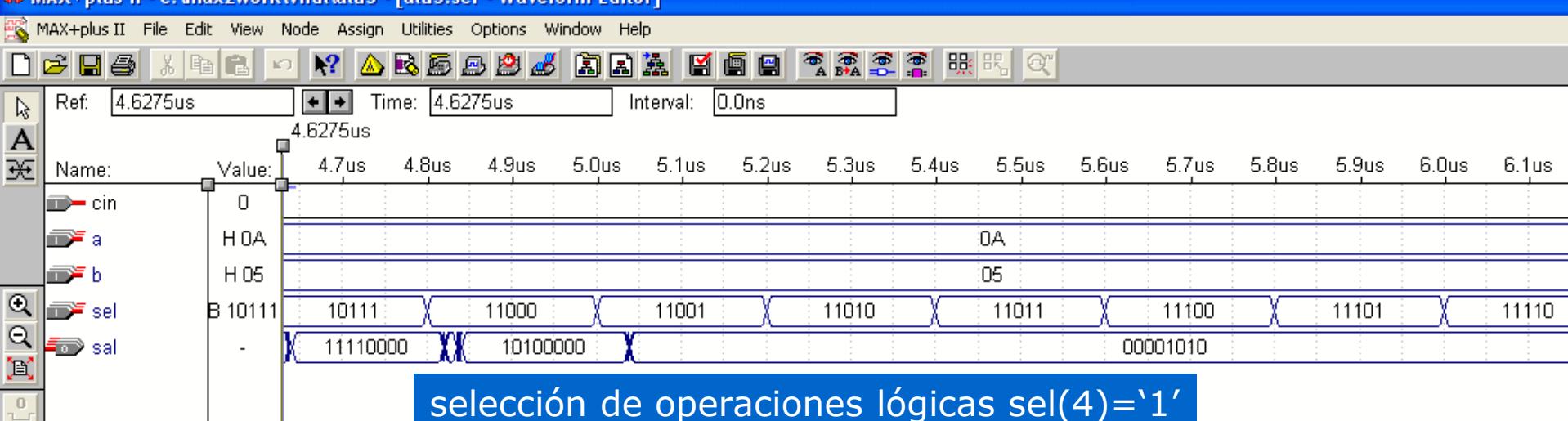
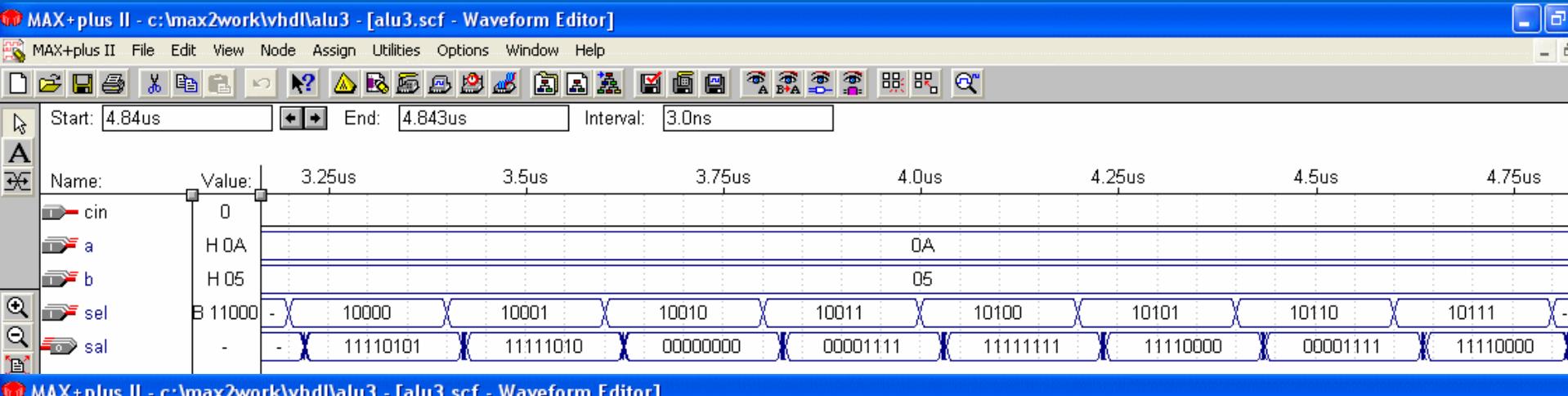


selección de operaciones aritméticas  $sel(4) = '0'$

# Diseño de Unidad Aritmético-Lógica (ALU)

Diseño de ALU de 8 bits con operaciones aritméticas sin signo (continuación)

## Simulación



selección de operaciones lógicas sel(4)='1'

# Diseño de un control para dos SEMÁFOROS



```
semaforo.vhd
```

```
--*****  
-- Descripcion en VHDL de un controlador de semaforos  
-- En este proyecto se describe un controlador de dos semaforos "1" y "2" con modos  
-- diurno y nocturno, controlado por la entrada "modo".  
-- Las salidas de las 3 lamparas por semáforo se presentan en "salida" donde:  
-- salida(5) = luz verde semáforo 2, V2.  
-- salida(4) = luz amarilla semáforo 2, A2.  
-- salida(3) = luz roja semáforo 2, R2.  
-- salida(2) = luz verde semáforo 1, V1.  
-- salida(1) = luz amarilla semáforo 1, A1.  
-- salida(0) = luz roja semáforo 1, R1.  
-- La secuencia de encendido de las lámparas se hace de la siguiente manera:  
-- Modo diurno (modo = '0'): R2-R1 -> R2-V1 -> R2-A1 -> R2-R1 -> V2-R1 -> A2-R1 -> REPITE  
-- Modo nocturno (modo = '1'): apagado-apagado -> A2-A1 -> REPITE.  
-- Para hacer el sistema más realístico se definen ciclos de reloj variable según en que  
-- estado se encuentre:  
-- R2-R1 dura 3000 ms.      0BB8 EN HEXADECIMAL.  
-- R2-V1 dura 20000 ms.     4E20 "      ".  
-- R2-A1 y A2-R1 duran 2000 ms. 07D0 "      ".  
-- V2-R1 dura 40000 ms.     9C40 "      ".  
-- apagado-apagado dura 1000 ms. 03E8 EN HEXADECIMAL.  
-- A2-A1 dura 1000 ms.      03E8 EN HEXADECIMAL.  
-- Para ello se usa un reloj base de 50 MHz que se divide hasta 1KHz (1 ms de periodo).  
-- Ese reloj entra a un contador preseteable con un dato que se modifica (count_max) cada vez  
-- que se pasa a un nuevo estado.  
-- Resultado: Funciona OK!  
-- Archivo: semaforo.vhd  
-- Sergio Noriega ISLD 2016  
--*****  
  
library ieee;  
use ieee.std_logic_1164.all;  
use ieee.std_logic_arith.all;  
use ieee.std_logic_unsigned.all;  
  
entity semaforo is  
    Port ( clock : in std_logic;      --ENTRADA DE 50 MHZ  
           modo : in std_logic;      --Entrada para ajuste diurno-nocturno  
           reset : in std_logic;      --Reset  
           salida : out std_logic_vector (5 downto 0)  
    );  
end semaforo;  
  
architecture Comportamiento of semaforo is  
    signal clock_1ms, clock_div, temporal, clock_prog : std_logic;  
    signal count_max                      : std_logic_vector (15 downto 0); --Hasta 65 segundos  
    signal counter                         : integer range 0 to 24999 := 0;  
    signal counter2                        : integer range 0 to 60000 := 0;  
  
    type state_type is (s0, s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7);  
    signal estado : state_type;
```

# Diseño de un control para dos SEMÁFOROS

Para que sea mas realista se deben obtener diferentes tiempos en cada etapa de la secuencia. Además en este ejemplo necesitamos que el semáforo 1 esté en VERDE unos 20 segundos y el VERDE del semáforo 2, encendido durante 40 segundos.

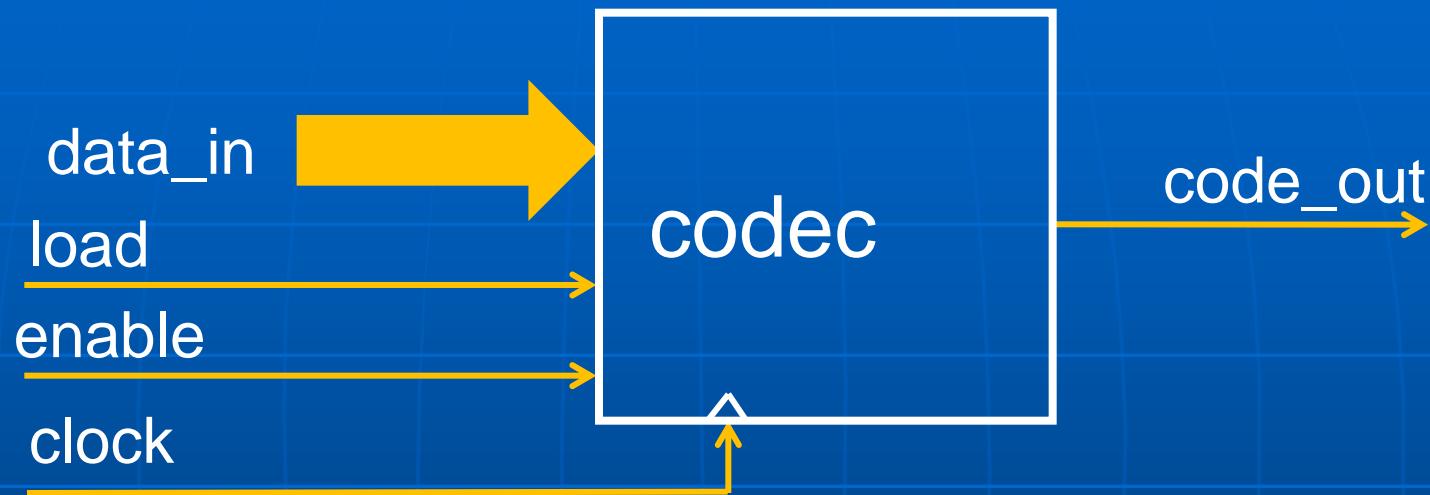
Cómo lograr con máquina de estados, modificar el tiempo en el que se está en cada estado?

```
56      begin
57
58      divisor_de_frec: process (reset, clock) -- Genera un reloj de 1ms de periodo
59          begin
60              if reset = '1' then temporal <= '0';
61                  counter <= 0;
62              elsif rising_edge(clock) then
63                  if (counter = 24999) then
64                      temporal <= NOT(temporal);
65                      counter <= 0;
66                  else
67                      counter <= counter + 1;
68                  end if;
69                  end if;
70          end process;
71
72      clock_1ms <= temporal; --Onda cuadrada de 1KHz y 50% de duty cycle.
73
74      clock_var : process (clock_1ms, reset) --Genera el reloj de periodo variable
75          begin
76              if rising_edge (clock_1ms) then
77                  if counter2 < count_max then
78                      clock_prog <= '0';
79                      counter2 <= counter2 + 1;
80                  else counter2 <= 0; clock_prog <= '1';
81                  end if;
82                  end if;
83          end process;
84
85      clock_div <= clock_prog;
```

# Diseño de un control para dos SEMÁFOROS

```
86
87     gen_salidas: process (clock_div, reset, modo)
88     begin
89         if reset = '1' then estado <= s0;
90         elsif (clock_div'event and clock_div = '1') then
91             case estado is
92                 when s0 => if modo = '0' then estado <= s1;
93                     else estado <= s7; end if;
94                 when s1 => if modo = '0' then estado <= s2;
95                     else estado <= s0; end if;
96                 when s2 => if modo = '0' then estado <= s3;
97                     else estado <= s0; end if;
98                 when s3 => if modo = '0' then estado <= s4;
99                     else estado <= s0; end if;
100                when s4 => if modo = '0' then estado <= s5;
101                    else estado <= s0; end if;
102                when s5 => if modo = '0' then estado <= s6;
103                    else estado <= s0; end if;
104                when s6 => if modo = '0' then estado <= s1;
105                    else estado <= s0; end if;
106                when s7 => if modo = '0' then estado <= s0;
107                    else estado <= s0; end if;
108            end case;
109        end if;
110    end process;

111
112    process (estado)
113    begin
114        case estado is
115            when s0 => salida <= "000000"; --Todas las luces apagadas
116                count_max <= x"03E8"; -- 1 segundo
117            when s1 => salida <= "001001"; --Prendidas R2 y R1
118                count_max <= x"0BB8"; -- 3 segundos
119            when s2 => salida <= "001100"; --Prendidas R2 y V1
120                count_max <= x"4E20"; -- 20 segundos
121            when s3 => salida <= "001010"; --Prendidas R2 y A1
122                count_max <= x"07D0"; -- 2 segundos
123            when s4 => salida <= "001001"; --Prendidas R2 y R1
124                count_max <= x"0BB8"; -- 3 segundos
125            when s5 => salida <= "100001"; --Prendidas V2 y R1
126                count_max <= x"9C40"; -- 40 segundos
127            when s6 => salida <= "010001"; --Prendidas A2 y R1
128                count_max <= x"07D0"; -- 2 segundos
129            when s7 => salida <= "010010"; --Prendidas A2 y A1
130                count_max <= x"03E8"; -- 1 segundo
131        end case;
132    end process;
133
134 end Comportamiento;
```



El dato paralelo se lo serializa y se envían dos bits por bit de dato.  
Se envía '01' si el dato es '0' y '10' si el dato es '1'.  
Esto garantiza la posibilidad en el receptor de recuperación del reloj  
para grandes cadenas de datos con '0s' o con '1s'.

# Diseño de un codificador manchester de 8 bits

## Descripción en VHDL

'load' carga y convierte el dato de 8 bits en un arreglo de 16 bits con la conversión requerida.  
'enable' habilita a que se envíen los 16 bits ya convertidos en forma serie a través del registro 'shiftreg'.  
  
Un contador 'count' se encarga de parar la transferencia una vez que se hayan transmitido los 16 bits.

```
1  --Codificador Manchester
2  --Archivos: codec_man (proyecto) y tb_codec_man (test bench)
3  --Sergio Noriega 2016
4  library ieee;
5  use ieee.std_logic_1164.all;
6  use ieee.std_logic_arith.all;
7  use ieee.std_logic_unsigned.all;
8
9  entity codec_man is
10
11  Port ( clock      : in std_logic;
12        enable     : in std_logic;
13        data_in    : in std_logic_vector (7 downto 0);
14        load       : in std_logic;
15        code_out   : out std_logic
16      );
17
18 end codec_man;
19
20 architecture Comportamiento of codec_man is
21
22  signal shiftreg : std_logic_vector (15 downto 0);
23  signal count    : integer range 0 to 16;
24
25 begin
26
27
28  genera_code: process (clock, enable, load, count)
29  begin
30    if clock'event and clock = '1' then
31      if load = '1' then
32        count <= 0;
33        for i in 0 to 7 loop
34          shiftreg (2*i) <= not data_in(i);
35          shiftreg (2*i +1) <= data_in(i);
36        end loop;
37      else if (enable = '1' and count < 16)then
38        shiftreg <= shiftreg(14 downto 0)&'0';
39        count <= count +1;
40      end if;
41    end if;
42  end if;
43 end process;
44
45 code_out <= shiftreg(15);
46
47
48 end Comportamiento;
```

# Diseño de un codificador manchester

## Test bench en VHDL

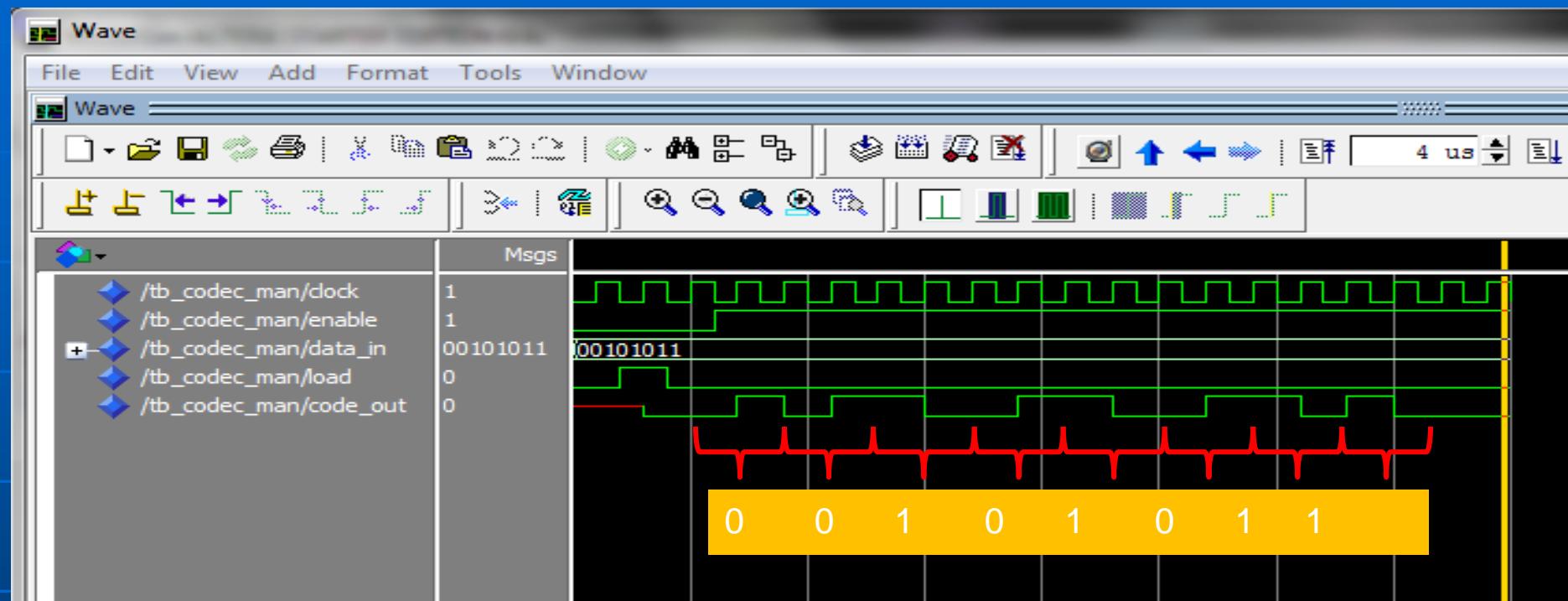
### Flow Summary

Flow Status	Successful - Wed Jun 01 13:41:37 2016
Quartus II Version	10.1 Build 153 11/29/2010 SJ Web Edition
Revision Name	codec_man
Top-level Entity Name	codec_man
Family	Cyclone IV E
Device	EP4CE22F17C6
Timing Models	Final
▲ Total logic elements	24 / 22,320 (< 1 %)
Total combinational functions	24 / 22,320 (< 1 %)
Dedicated logic registers	21 / 22,320 (< 1 %)
Total registers	21
Total pins	12 / 154 (8 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	0 / 608,256 (0 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	0 / 132 (0 %)
Total PLLs	0 / 4 (0 %)

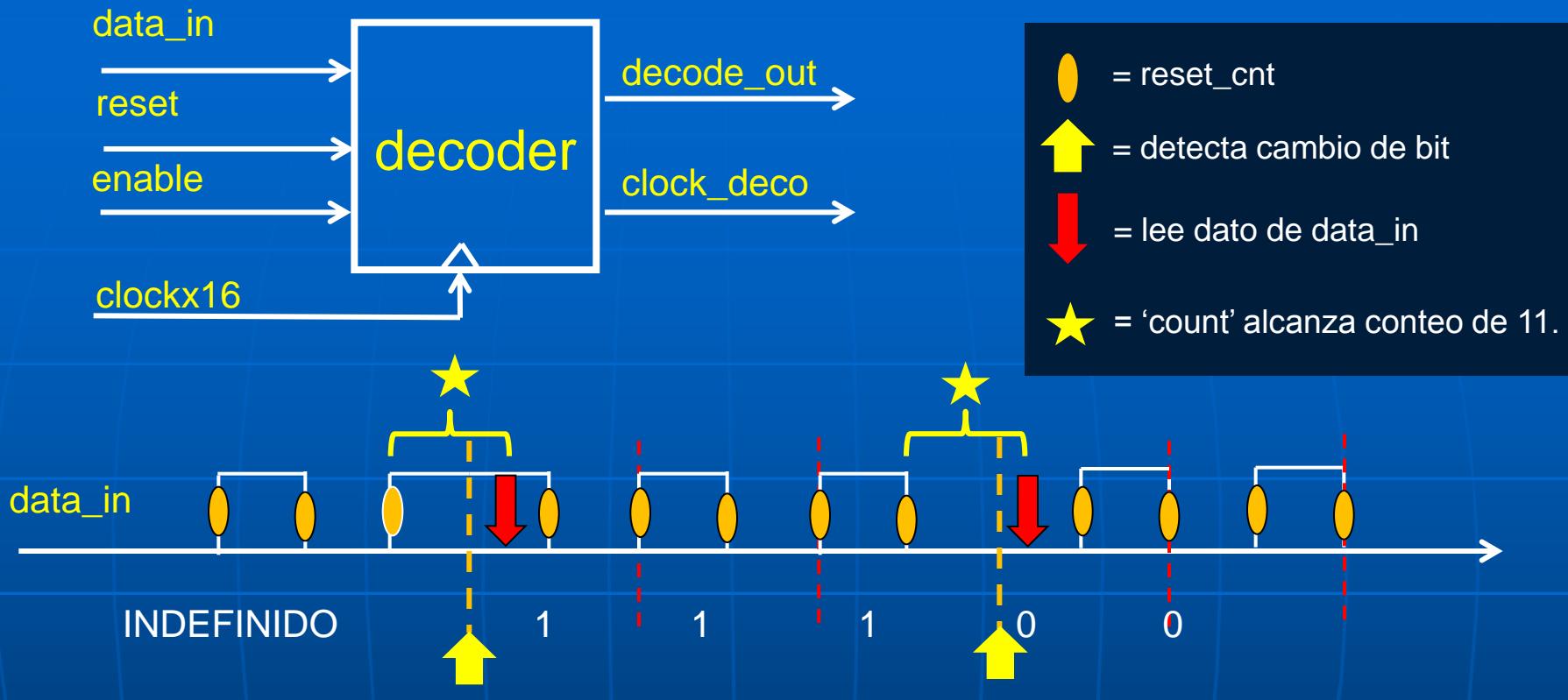
```
1 library IEEE;
2 use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
3 use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.all;
4 use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.all;
5
6 entity tb_codec_man is
7 end tb_codec_man;
8
9 architecture test of tb_codec_man is
10
11 component codec_man
12 Port (clock : in std_logic;
13         enable : in std_logic;
14         data_in : in std_logic_vector (7 downto 0);
15         load : in std_logic;
16         code_out : out std_logic );
17 end component;
18
19 signal clock : std_logic;
20 signal enable : std_logic;
21 signal data_in : std_logic_vector (7 downto 0);
22 signal load : std_logic;
23 signal code_out : std_logic;
24
25 begin
26
27     uut: codec_man port map ( clock => clock, enable => enable,
28                                 data_in => data_in, load => load,
29                                 code_out => code_out );
30
31     gen_reloj : process
32     begin
33         clock <= '0';
34         wait for 100 ns;
35         clock <= '1';
36         wait for 100 ns;
37     end process gen_reloj;
38
39     estimulos : process
40     begin
41         enable <= '0';
42         load <= '0';
43         data_in <= "00101011";
44         wait for 200 ns;
45         load <= '1';
46         wait for 200 ns;
47         load <= '0';
48         wait for 200 ns;
49         enable <= '1';
50         wait for 3500 ns;
51     end process estimulos;
52 end test;
```

# Diseño de un codificador manchester de 8 bits

## Resultado de la simulación



## Diseño de un decodificador manchester

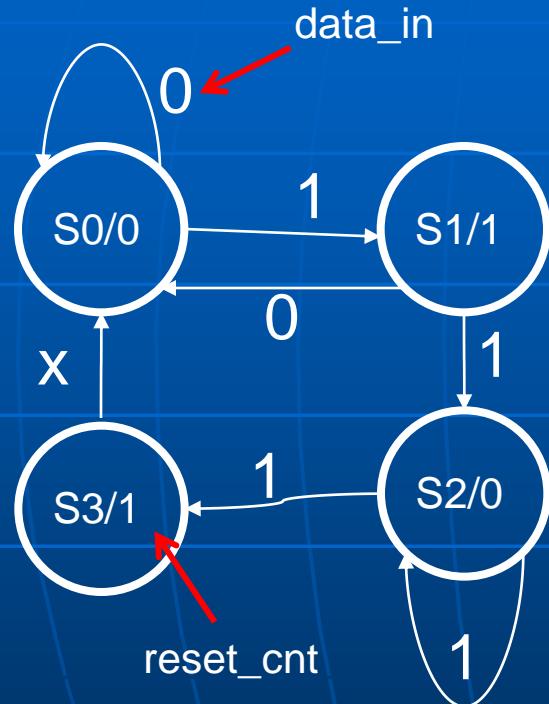


El dato del serializador se procesa a una frecuencia 16 veces mayor a la del reloj original del transmisor (TX). Esto garantiza que el receptor (RX) pueda recuperar el reloj aún existiendo falta de sincronismo entre TX y RX. Se comienza buscando una transición de datos 0 a 1 ó 1 a 0, donde el TX debe transmitir 0110 ó 1001 y en tal condición hay un lapso donde tenemos en dos tiempos de bit, un '1' ó un '0' respectivamente. Para ello se dispara constantemente un reloj que comienza en '0' al detectar una transición en la trama recibida. Ese contador trabaja con un reloj 16 veces más rápido que el del transmisor. Está preparado para que si cuenta hasta 12, significa que está en alguna de las dos condiciones anteriores donde se recibe 0110 ó 1001. En ese caso lee el dato de entrada para rescatar el dato originalmente enviado. En paralelo a esto, se reconstruye la señal de reloj a fin de mandar a la siguiente etapa del receptor, el dato y reloj originales antes de ser codificados.

# Diseño de un decodificador manchester

## Descripción en VHDL

Modelo de descripción por MOORE del sincronizador.



Esta etapa con máquina de estado detecta cada transición en la trama de entrada y genera un pulso cada vez que esto sucede.

Sirve de señal de reset para el proceso 'counter'.

```
1 --Decodificador Manchester
2 ---ISLD Sergio Noriega 2016
3 library ieee;
4 use ieee.std_logic_1164.all;
5 use IEEE.NUMERIC_STD.all;
6 use ieee.std_logic_arith.all;
7 use ieee.std_logic_unsigned.all;
8
9 entity decoder_man1 is
10 Port ( clockx16 : in std_logic;
11         enable   : in std_logic;
12         data_in  : in std_logic;
13         reset    : in std_logic;
14         out_rst_cnt : out std_logic;
15         out_count : out std_logic_vector (4 downto 0);
16         out_count2 : out std_logic_vector (3 downto 0);
17         clock_deco : out std_logic;
18         decoder_out : out std_logic
19     );
20 end decoder_man1;
21
22 architecture Comportamiento of decoder_man1 is
23
24 signal count          : integer range 0 to 15;
25 signal count2         : std_logic_vector (3 downto 0):= "0000";
26 constant countmax    : integer :=11;
27 signal reset_cnt, out_dec, clock2, enable2 : std_logic := '0';
28 type state_type is (s0, s1, s2, s3); signal state  : state_type;
29
30 begin
31 gen1_rst_cnt : process (clockx16, reset)
32 begin
33     if reset = '1' then state <= s0;
34     elsif (rising_edge(clockx16)) then
35         case state is
36             when s0=>
37                 if data_in = '1' then state <= s1;
38                 else state <= s0;
39                 end if;
40             when s1=>
41                 if data_in = '1' then state <= s2;
42                 else state <= s0;
43                 end if;
44             when s2=>
45                 if data_in = '1' then state <= s3;
46                 else state <= s0;
47                 end if;
48             when s3 =>
49                 if data_in = '1' then state <= s0;
50                 else state <= s0;
51                 end if;
52         end case;
53     end if;
54 end process;
```

# Diseño de un decodificador manchester

## Descripción en VHDL

Etapa para lectura del dato desde la trama recibida.  
Esto se hace sólo si el contador llega a contar hasta 11.

Etapa para reconstruir la señal de reloj necesaria para que la próxima etapa del receptor procese el dato original en sincronismo.

```
56
57     gen2_rst_cnt: process (state)
58         begin
59             case state is
60                 when s0 => reset_cnt <= '0';
61                 when s1 => reset_cnt <= '1';
62                 when s2 => reset_cnt <= '0';
63                 when s3 => reset_cnt <= '1';
64             end case;
65         end process;
66
67         out_RST_CNT <= reset_CNT;
68
69
70     counter : process (clockx16, reset_CNT)
71         begin
72             if reset_CNT = '1' then count <= 0;
73             elsif clockx16'event and clockx16 = '1' then
74                 if enable = '1' then
75                     if count = countmax then out_DEC <= data_IN; count <= 0; enable2 <='1';
76                     else count <= count + 1;
77                 end if;
78             end if;
79         end process;
80
81     gen_CLKR : process(clockx16, count, enable2)
82         begin
83             if (reset = '1' or count = 11) then count2 <= "0000";
84             elsif clockx16'event and clockx16 = '1' then
85                 if (count2 = "0000" and enable2 = '1') then  clock2 <= '1';
86                 else clock2 <= '0';
87             end if;
88             count2 <= count2 + "0001";
89         end if;
90     end process;
91
92     clock_deco <= clock2;
93     decoder_out <= out_DEC;
94     out_count <= CONV_STD_LOGIC_VECTOR(count, 5);
95     out_count2 <= count2;
96 end Comportamiento;
```

'clock\_deco' y 'decoder\_out' son las señales de salida para la etapa posterior del receptor que debe realizar el sincronismo de 'frame' y posterior des-serialización.

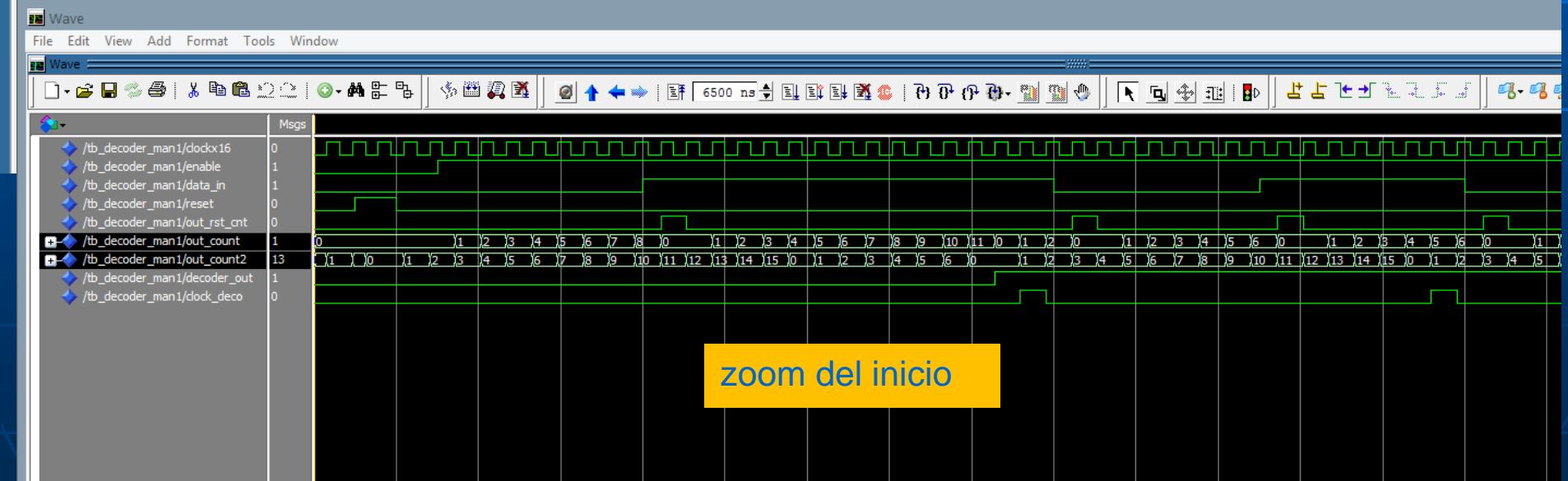
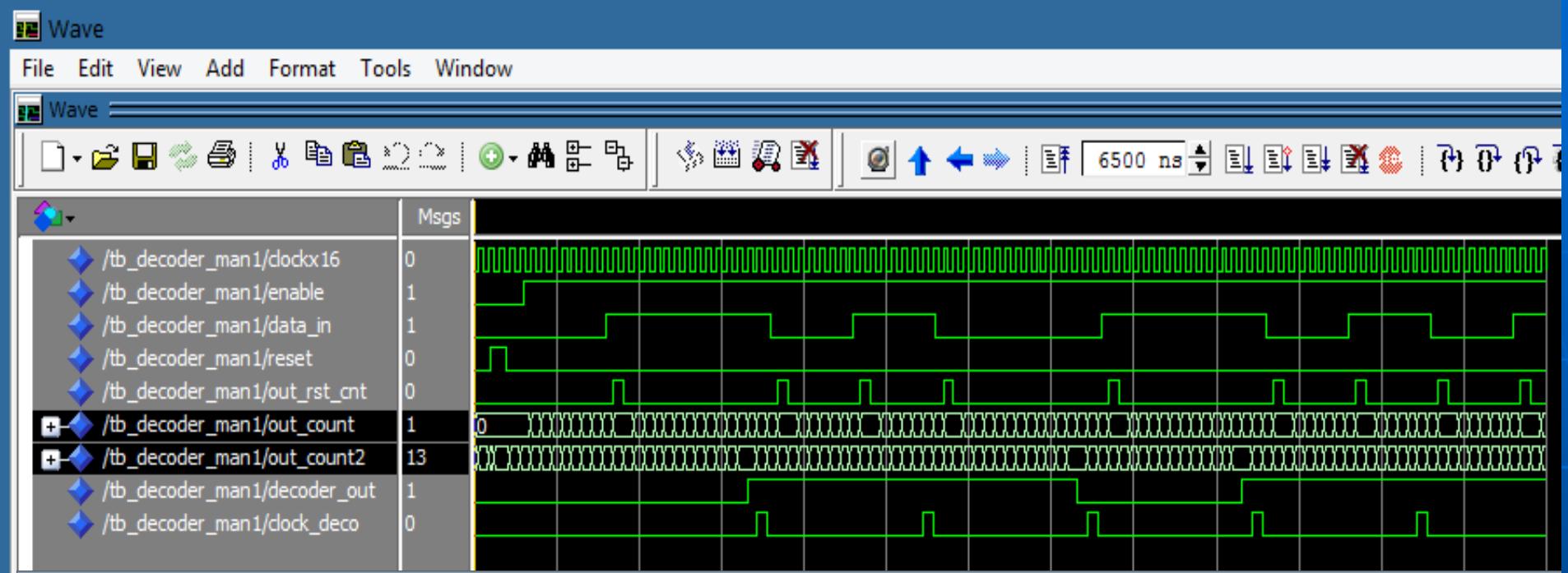
# Diseño de un decodificador manchester

## Test bench en VHDL

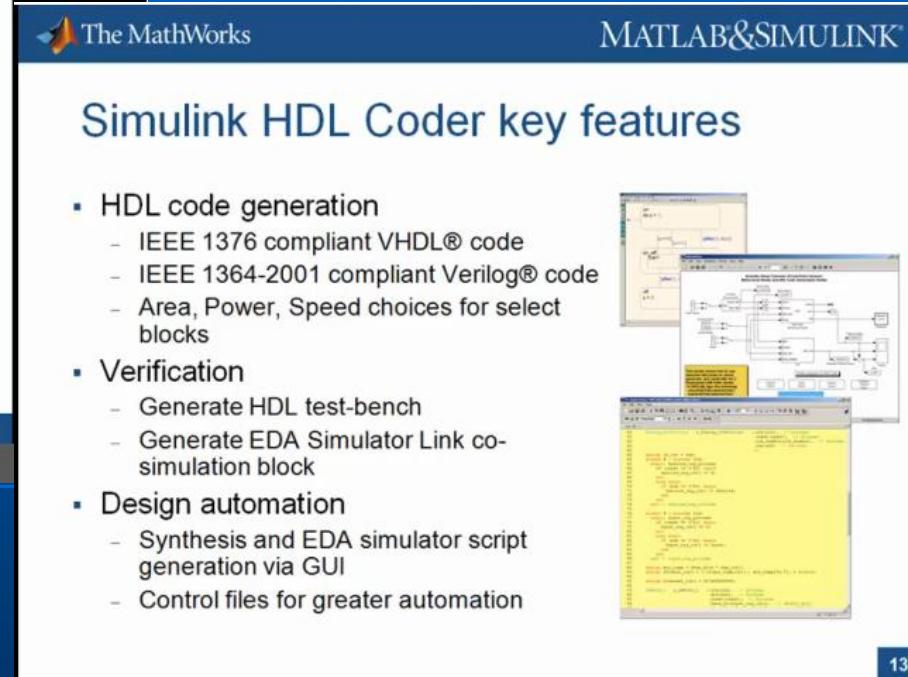
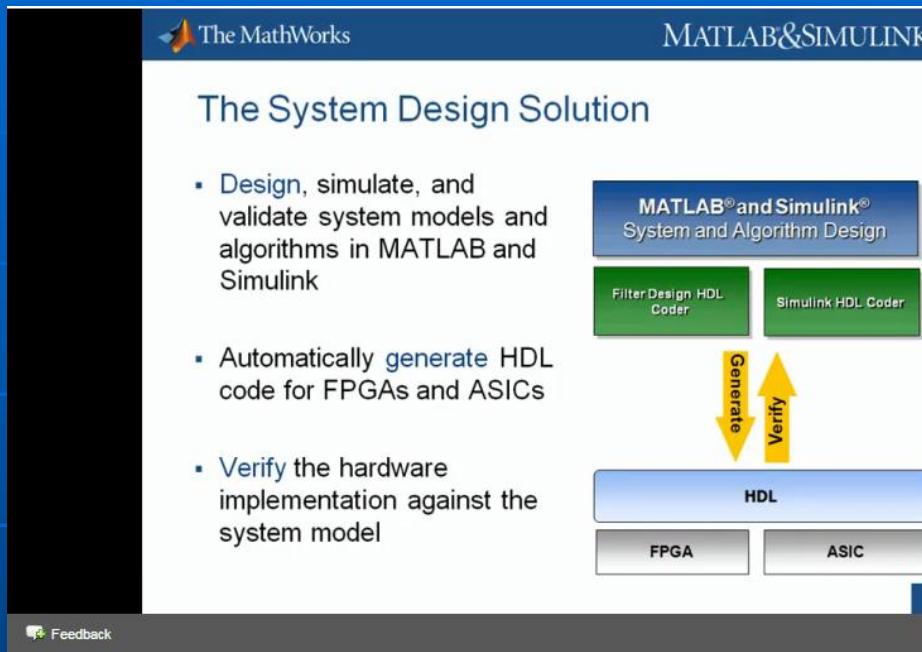
Se genera la secuencia:  
10-10-01-10-10-.... que  
corresponde a un dato  
binario: 11011....

Se puede optimizar, usando  
un arreglo para 'data\_in' y  
lazo de retardo con 'for-loop'.

```
1 library IEEE;
2 use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
3 use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.all;
4 use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.all;
5
6 entity tb_decoder_man1 is
7 end tb_decoder_man1;
8
9 architecture test of tb_decoder_man1 is
10
11 component decoder_man1
12 Port (clockx16 : in std_logic;
13         enable : in std_logic;
14         data_in : in std_logic;
15         reset : in std_logic;
16         out_rst_cnt : out std_logic;
17         out_count : out std_logic_vector (4 downto 0);
18         out_count2 : out std_logic_vector (3 downto 0);
19         clock_deco : out std_logic;
20         decoder_out : out std_logic );
21 end component;
22
23 signal clockx16, enable, data_in, reset, out_rst_cnt : std_logic;
24 signal out_count : std_logic_vector (4 downto 0);
25 signal out_count2 : std_logic_vector (3 downto 0);
26 signal decoder_out, clock_deco : std_logic;
27
28 begin
29     uut: decoder_man1 port map ( clockx16 => clockx16, enable => enable,
30                                     data_in => data_in, reset => reset,
31                                     out_rst_cnt => out_rst_cnt,
32                                     out_count => out_count,
33                                     out_count2 => out_count2,
34                                     clock_deco => clock_deco,
35                                     decoder_out => decoder_out );
36
37     gen_reloj : process
38     begin
39         clockx16 <= '0'; wait for 31.25 ns;
40         clockx16 <= '1'; wait for 31.25 ns;
41     end process gen_reloj;
42
43     estimulos : process
44     begin
45         enable <= '0'; reset <= '0'; data_in <= '0'; wait for 100 ns;
46         reset <= '1'; wait for 100 ns; reset <= '0'; wait for 100 ns;
47         enable <= '1'; wait for 500 ns; data_in <= '1'; wait for 500 ns;
48         data_in <= '1'; wait for 500 ns; data_in <= '0'; wait for 500 ns;
49         data_in <= '1'; wait for 500 ns; data_in <= '0'; wait for 500 ns;
50         data_in <= '0'; wait for 500 ns; data_in <= '1'; wait for 500 ns;
51         data_in <= '1'; wait for 500 ns; data_in <= '0'; wait for 500 ns;
52         data_in <= '1'; wait for 500 ns; data_in <= '0'; wait for 500 ns;
53         data_in <= '1'; wait;
54     end process estimulos;
55 end test;
```



Ejemplo: Diseño y simulación en Matlab => Generación de código HDL (VHDL y Verilog).  
=> Verificación de implementación de FPGA contra el modelo inicial.



Webseminar en website de Mathworks:

<http://www.mathworks.com/videos/rapid-design-and-implementation-using-automatic-hdl-code-generation-82015.html>

## HISTORIA

VERILOG al igual que VHDL se ha convertido en la actualidad en un standard para el diseño y verificación de sistemas digitales como lenguaje de descripción de hardware (HDL) de alto nivel de abstracción.

En 1995 fue incorporado al IEEE (std. 1364-1995) como una herramienta de descripción de hardware y en forma paulatina fue siendo aceptada por los grandes fabricantes circuitos digitales programables.

Debido a varios problemas, en 2001 apareció una importante actualización a fin de subsanarlos, aunque todavía para realizar descripción y verificación de un diseño, se tenía que emplear un software adicional aparte de VERILOG.

Finalmente esta falencia se subsanó y en el 2005 se formalizó la nueva evolución de VERILOG, la cual se estandarizó en IEEE denominándose SYSTEM VERILOG (std. 1800-2005).

Este nuevo tipo de software HDL permitió entre otras cosas, como se comentó, poder realizar las verificaciones de sistemas en el mismo paquete del software como VHDL.

## EJEMPLO CON SYSTEM VERILOG

## DESCRIPCIÓN DE UN MUX EMPLEANDO SENTENCIA «IF»

```
7 module mux_usando_if(  
8 input wire din_0 , // Primera entrada del Mux  
9 input wire din_1 , // Segunda entrada del Mux  
10 input wire sel , // Entrada de Selección del MUX  
11 output reg mux_out // Salida del Mux  
12 );  
13 //-----Comienza la Descripción del Código-----  
14 always_comb  
15 begin : MUX  
16 if (sel == 1'b0) begin  
17 mux_out = din_0;  
18 end else begin  
19 mux_out = din_1 ;  
20 end  
21 end  
22  
23  
endmodule
```

## EJEMPLO CON SYSTEM VERILOG

## DESCRIPCIÓN DE UN FF «D» CON RESET SINCRÓNICO

```
7 module dff_sync_reset (
8 input wire data , // Entrada del Dato del FF
9 input wire clk , // Entrada del Clock del FF
10 input wire reset , // Entrada del Reset del FF
11 output reg q // Salida Q del FF
12 );
13 //----- Comienza la Descripción del Código-----
14 always_ff @ ( posedge clk)
15 if (~reset) begin
16 q <= 1'b0;
17 end else begin
18 q <= data;
19 end
20
21 endmodule
```

## EJEMPLO CON SYSTEM VERILOG

## DESCRIPCIÓN DE UN CONTADOR PROGRESIVO CON CARGA PARALELA

```
7 module up_counter_load (
8 output reg [7:0] out , // Salida de counter
9 input wire [7:0] data , // Entrada Paralela de counter
10 input wire load , // Habilitación de Carga Paralela de counter
11 input wire enable , // Habilitación de conteo de counter
12 input wire clk , // Entrada de clock de counter
13 input wire reset // Entrada de reset de counter
14 );
15 //----- Comienza la Descripción del Código-----
16 always_ff @ (posedge clk)
17 if (reset) begin
18 out <= 8'b0 ;
19 end else if (load) begin
20 out <= data;
21 end else if (enable) begin
22 out <= ++;
23 end
24
25 endmodule
```

# BIBLIOGRAFÍA:

## *Libros (lista parcial):*

- VHDL for Logic Synthesis. A. Rushton. John Wiley 3rd Edition, 2011.
- Circuit Design with VHDL. Volnei A. Pedroni. MIT Press, 2004.
- VHDL: Programming by Example. Douglas Perry. McGraw-Hill, 2002.
- VHDL: Lenguaje para Síntesis y modelado de circuitos. Pardo/Boluda. Alfaomega, 2000.

## *Internet (lista parcial):*

- The VHDL Cookbook. Peter Ashenden. Peter Ashenden 1990.  
[tech-www.informatik.uni-hamburg.de/vhdl/doc/cookbook/VHDL-Cookbook.pdf](http://tech-www.informatik.uni-hamburg.de/vhdl/doc/cookbook/VHDL-Cookbook.pdf)
- Hamburg VHDL Archives: <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/research/vlsi/vhdl/>
- EDA (Electronic Design Automation) Industry Working Groups:  
<http://www.vhdl.org/>

NOTA: La disponibilidad de material sobre este tema es muy grande.  
Aquí sólo se dan algunas referencias como para empezar a interesarse en el tema.