



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

ESCUELA  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA

## **Informe Proyecto Final Electrónica Digital I:**

# **“Desarrollo de voltímetro digital sobre placa FPGA”**

Fecha: 07 de *marzo de 2019*

**Autores:** Joaquin Gonzalez    joagonzalez@gmail.com  
David, Wolovelsky    dwolovelsky@gmail.com

**Carrera:** Ing. en Telecomunicaciones

## Contenido

Objetivo.....	3
Conversor ADC Sigma-Delta.....	3
Bloque controlador VGA .....	5
Generador de píxel y ROM.....	6
Resumen y funcionamiento voltímetro .....	8
Testing de módulos.....	10

## Objetivo

El objetivo de este trabajo es implementar, en lenguaje VHDL, un voltímetro digital conformado por un convertor analógico-digital Sigma-Delta a la entrada para realizar el muestreo y la conversión de la señal a medir. A la salida del sistema, la medición realizada será enviada al módulo VGA de la placa Spartan-3E.

Los tres módulos principales del voltímetro se identifican de la siguiente manera:

- Bloque que se encarga de digitalizar el voltaje de entrada que se desea medir
- Bloque controlador VGA que se encarga de producir la señal de sincronismo e indicar en qué posición (horizontal y vertical) de la pantalla se encuentra en ese momento.
- Bloque que se encarga de encender los píxeles correspondientes a los caracteres que se desea proyectar en la pantalla

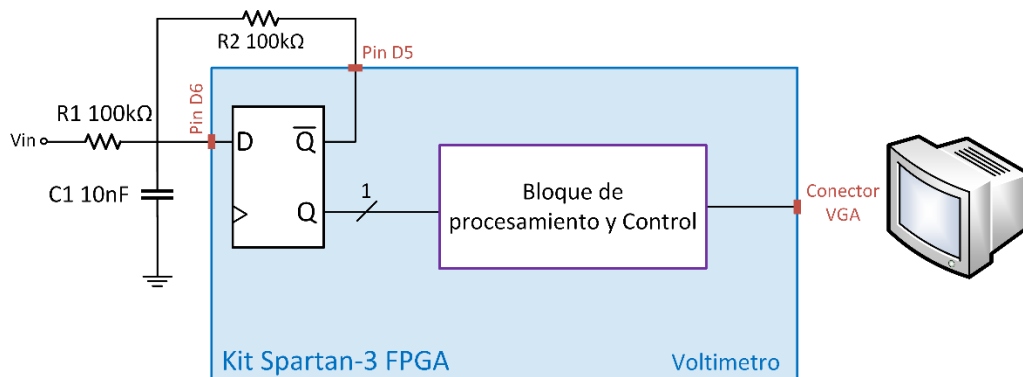


Figura 1. Conexión de placa Spartan-3E con voltímetro y periféricos

## Convertor ADC Sigma-Delta

La señal de voltaje que se desea medir es de naturaleza analógica, por lo tanto, debe digitalizarse de manera que pueda ser procesada por el voltímetro desarrollado. Esta tarea la realizaremos con un convertor ADC Sigma-Delta.

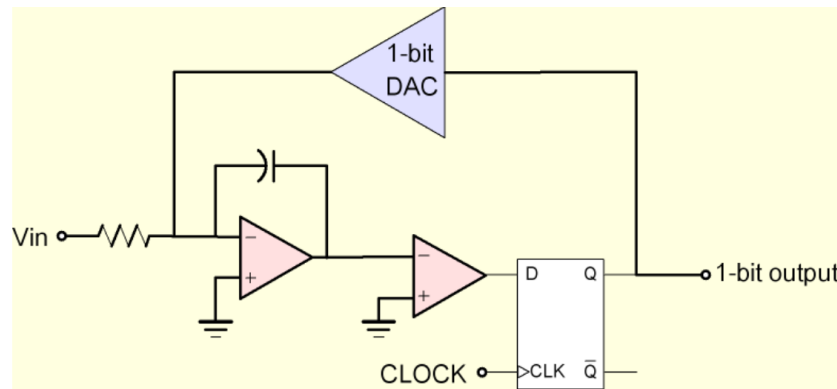


Figura 2. Conversor ADC Sigma-Delta

1. Al voltaje de entrada  $V_{in}$  se le resta el voltaje a la salida del DAC de 1 bit a través del loop de realimentación negativa
2. Esta diferencia de tensión se integra y la salida se compara con una tensión de referencia  $V_{ref}$ . El integrador se implementa de manera externa a la placa como se muestra en la figura 1
3. La salida del comparador se inyecta a la entrada de un Flip-flop D
4. La salida Q del Flip-Flop D se realimenta a través del DAC de 1 bit a la entrada del sistema
5. La salida será  $Q=1$  ( $V_{ref}$ ) o  $Q=0$  (0V) dependiendo el valor de D
6. El contador BCD contará cada 1 que salga del ADC ( $Q=1$ )
7. El proceso se repite durante N ciclos del clock (33000 limitados por el bloque contador que resetea el módulo BCD)
8. El voltaje medido por el voltímetro será  $(\# \text{Cantidad de 1's a la salida de ADC} / N) \times V_{ref}$  donde  $N=33000$  y  $V_{ref}=3.3V$ , dando un valor de 0.0001V por cada uno ingresado al BCD

Debido a lo observado en el punto 8, se utilizará un contador BCD de 5 décadas para poder almacenar una resolución de 5 valores. Los últimos 3 dígitos que utiliza el contador ( $Q_4$ ,  $Q_3$ ,  $Q_2$ ) serán los dígitos **D1.D2D3** que se desean medir y mostrar en pantalla.

Se utiliza un reloj de sincronismo interno que provee el kit de desarrollo Spartan-3E que trabaja a una frecuencia de 50MHz ( $t=1/50\text{MHz}=20\text{ns}$ ). En donde  $t \cdot 33000=660\mu\text{s}$ . Se contempla que la señal a medir no tendrá cambios bruscos o componentes de muy alta frecuencia, por lo que el tiempo de medición es aceptable bajo estas consideraciones.

## Bloque controlador VGA

El bloque controlador tiene las siguientes características de funcionamiento:

- Imagen de 640 píxeles \* 480 líneas x 60 Hz (800 píxeles \* 525 líneas en total)
- Sincronismo Horizontal
  - 96 píxeles de sincronismo (hs)
  - 48 píxeles de porch trasero (hbp)
  - 16 píxeles de porch delantero (hfp)
- Sincronismo Vertical
  - 2 píxeles de sincronismo (vs)
  - 33 píxeles de porch trasero (vbp)
  - 10 píxeles de porch delantero (vfp)

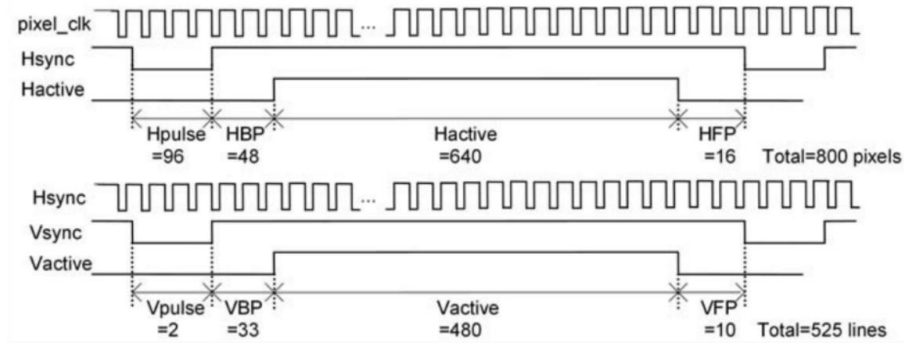


Figura 3. Sincronismo señal VGA

El controlador VGA está conformado por dos contadores, uno para el barrido horizontal (v\_cont\_h) que contará hasta 800, al llegar a este número enviará una señal de Enable al contador vertical (v\_cont\_v) el cual bajará una línea en el barrido. El contador horizontal tiene una condición de reset al contar 801 y el vertical al contar 522, esto permitirá que las coordenadas (x,y) que se envíen por pantalla tomen los valores requeridos para la resolución elegida.

El controlador VGA requiere una frecuencia de reloj de 25.175MHz, prácticamente la mitad de la frecuencia utilizada para sincronizar el resto de los componentes del voltímetro. Se implementa un divisor de frecuencia por dos para alimentar el clock del controlador VGA como se muestra en la figura 4.

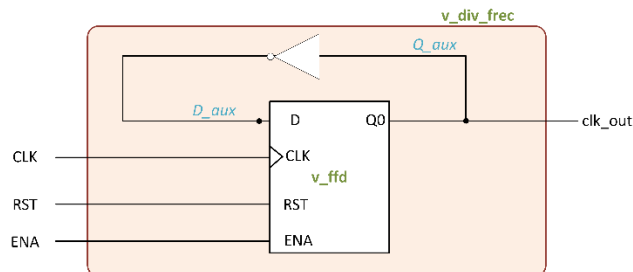


Figura 4. Bloque divisor de frecuencia por 2 utilizando flip-flop D

## Generador de píxel y ROM

Con el objetivo de poder graficar los dígitos que mide el contador BCD en pantalla, se realizará una distribución matricial de la zona visible para poder ubicarlos en bloques específicos de la misma. Para ello se divide la pantalla (zona visible) en 5 columnas de 128 píxeles de ancho ( $5 \times 128 = 640$ ), y 3 filas de 128 píxeles de alto más una de 96 ( $128 \times 3 + 96 = 480$ ). Además, cada uno de estos bloques de  $128 \times 128$  píxeles se dividen en  $8 \times 8$  sub-bloques de 16 píxeles de lado. Estos sub-bloques de  $16 \times 16$  bloques (256 píxeles en total) serán tratados como una unidad básica de encendido/apagado por los controladores RGB.

Para controlar la posición en pantalla se utilizará la señal de barrido en combinación con multiplexores que permitirán establecer la condición de posición para identificar el bloque que se está recorriendo en un momento dado y, de esta manera, poder decidir si se desea enviar señal de encendido o no. Además, al tomar la decisión de encender/apagar en base a los bloques donde queremos dibujar los dígitos medidos, utilizaremos una memoria ROM donde almacenaremos las “formas” que deseamos dibujar en pantalla. Esta memoria contendrá los píxeles que deben encenderse dentro de un bloque de  $128 \times 128$  para dibujar un carácter.

La memoria ROM de caracteres y el MUX que verifica la condición de encendido/apagado vertical se implementan en el módulo v\_CGA como se observa en la figura 5.

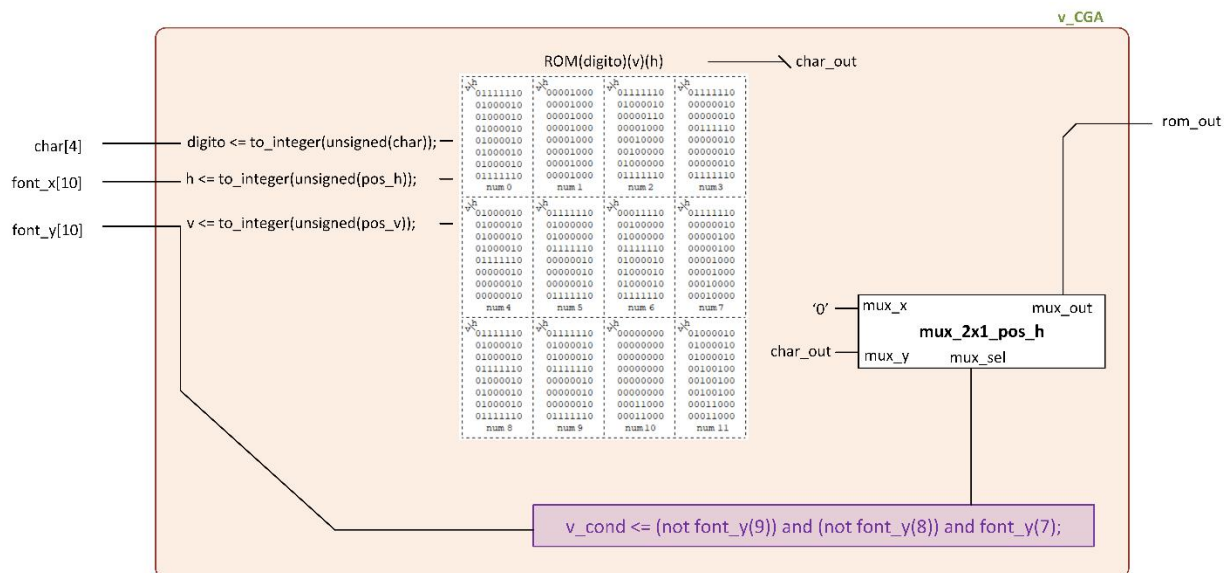


Figura 5. Bloque v\_CGA

La salida **rom\_out** del bloque **v\_CGA** está conectada a las entradas RGB del controlador VGA, que son los que envían las señales de encendido/apagado. Las condiciones de encendido/apagado horizontal serán controladas con el bloque **v\_MUX**, que es un multiplexor de 5 entradas (**D1**, **'**, **D2**, **D3**, **'V**) y que, dependiendo la columna donde se encuentre el contador de posición **x**, será el dígito que le indique dibujar al módulo **v\_CGA**.

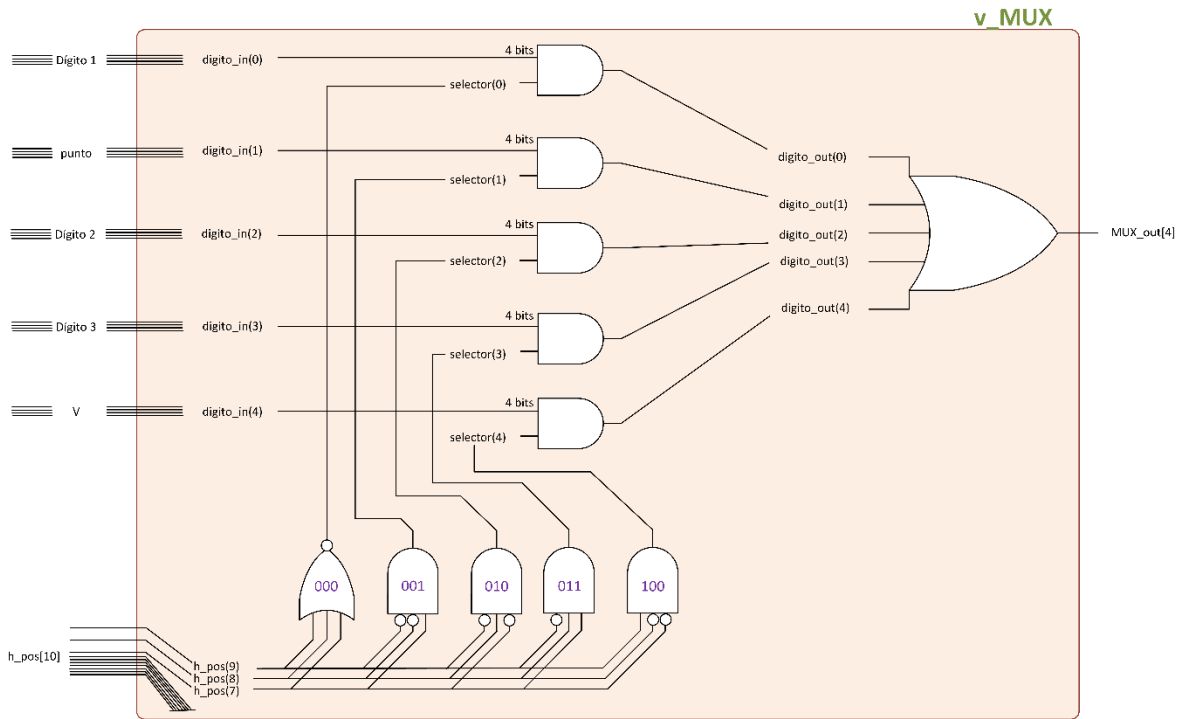


Figura 6. Bloque v\_MUX. Selección de caracter a dibujar en base a sync horizontal

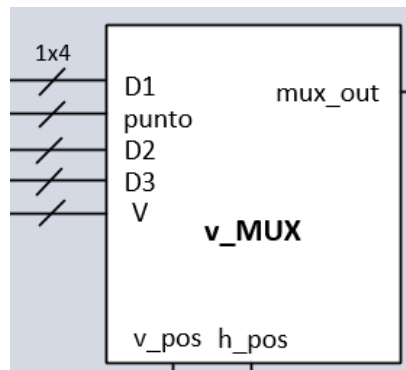
Al bloque v\_MUX se le agrego una modificación extra, para validar también la posición vertical y, en esos casos, enviar todos ceros en los 4 bits de la salida MUX\_out.

```
-- 1      =      000      Franja de pantalla 1/5 y fijando franja vertical 001
selector(0) <= (not (h_pos(9) or h_pos(8) or h_pos(7))) and ((not v_pos(9)) and (not v_pos(8)) and
v_pos(7));
-- 1      =      001      Franja de pantalla 2/5 y fijando franja vertical 001
selector(1) <= ((not h_pos(9)) and (not h_pos(8)) and h_pos(7)) and ((not v_pos(9)) and (not v_pos(8)) and
v_pos(7));
-- 1      =      010      Franja de pantalla 3/5 y fijando franja vertical 001
selector(2) <= ((not h_pos(9)) and h_pos(8) and (not h_pos(7))) and ((not v_pos(9)) and (not v_pos(8)) and
v_pos(7));
-- 1      =      011      Franja de pantalla 4/5 y fijando franja vertical 001
selector(3) <= ((not h_pos(9)) and h_pos(8) and h_pos(7)) and ((not v_pos(9)) and (not v_pos(8)) and
v_pos(7));
-- 1      =      100      Franja de pantalla 5/5 y fijando franja vertical 001
selector(4) <= (h_pos(9) and (not h_pos(8)) and (not h_pos(7))) and ((not v_pos(9)) and (not v_pos(8)) and
v_pos(7));

digito_in(0) <= D1;
digito_in(1) <= punto;
digito_in(2) <= D2;
digito_in(3) <= D3;
digito_in(4) <= V;

digito_out_block : for i in 0 to 4 generate
    digito_out(i) <= (digito_in(i)(3)and selector(i))&(digito_in(i)(2)and selector(i))&(dig-
ito_in(i)(1)and selector(i))&(digito_in(i)(0)and selector(i));
end generate digito_out_block;

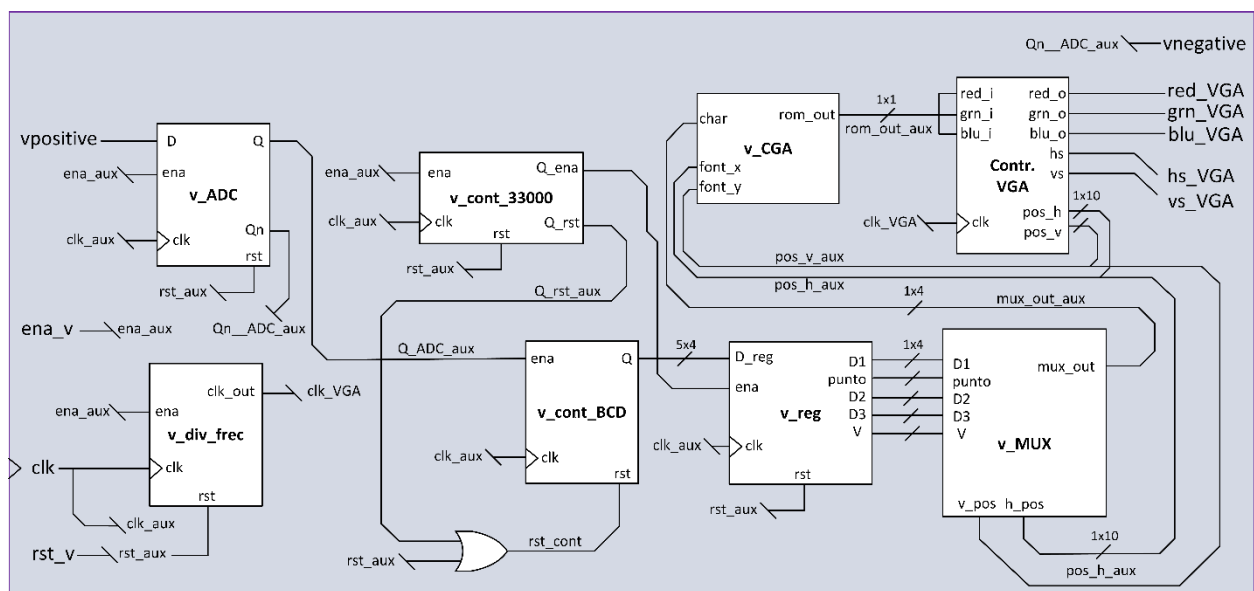
MUX_out <= digito_out(4) or digito_out(3) or digito_out(2) or digito_out(1) or digito_out(0);
```



**Figura 7. v\_MUX con verificación de posición vertical**

## Resumen y funcionamiento voltímetro

El diseño del voltímetro, junto con todos sus bloques, se describe en la figura 8.



**Figura 8. voltímetro digital**

La tensión a medir ingresará al bloque ADC a través de vpositive. La salida del ADC (Q) ingresará a la entrada del contador BCD de 5 décadas. La resolución del contador será de 0.0001V como se indicó en la introducción de este trabajo. El bloque v\_cont\_33000 contará de forma independiente 33001 ciclos de reloj y, al llegar al final de cada ciclo de conteo enviará una señal de reset al bloque contador BCD. Además, al contar 33000 enviará una señal de enable al bloque v\_reg que capturará la salida de las tres cifras más significativas del bloque v\_cont\_BCD que se desactivará al siguiente ciclo de reloj. Como v\_reg actúa de memoria, guardará estos valores y los enviará, junto con las referencias en ROM de los caracteres "V" y "." Al bloque v\_MUX. Este multiplexor de 5 entradas enviará, a través de su salida mux\_out, el dígito que debe dibujar el controlador VGA en base a la posición en pantalla que indiquen las señales de barrido v\_pos y h\_pos. Los primeros 3 bits de estas señales (9, 8, 7) indican en cuál de los 5 bloques horizontales se encuentra el barrido y en cual de los 4 verticales como se puede ver en la



figura 9. Los bits 6, 5 y 4 indican en cual de los 64 sub bloques (8\*8) de 16\*16 píxeles se encuentra el barrido, de esta manera se podrá referenciar la ROM de manera específica como se muestra a continuación: ROM(digito)(v)(h), donde v y h son variables que contienen la codificación a entero de los 3 bits indicados.

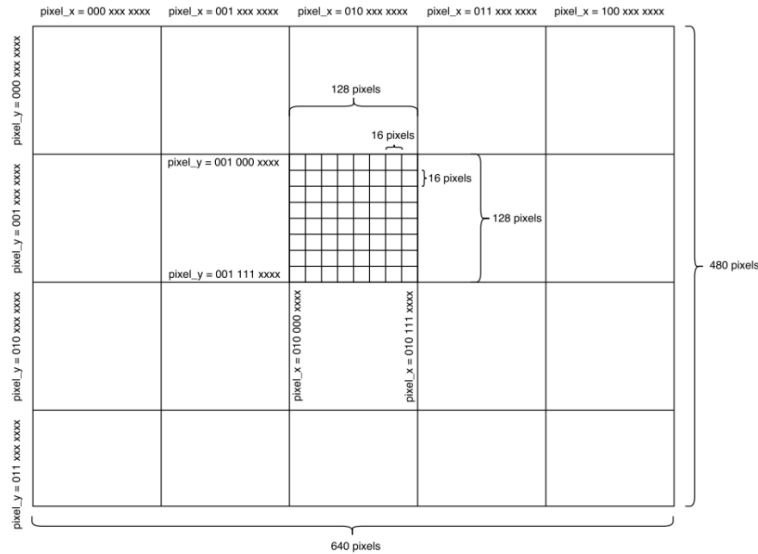


Figura 9. División matricial de pantalla y señales de barrido pixel\_x y pixel\_y

La salida de 4 bits del bloque v\_MUX, que indica el dígito a dibujar en pantalla, será enviada al módulo v\_CGA, este bloque buscará en la matriz ROM como debe dibujarse ese dígito en pantalla, es decir, que puntos (16\*16 píxeles) debe encender/apagar dentro de la celda referenciada. Además, este módulo tiene una validación adicional, la cual enviará "0" a través de rom\_out en caso de estar en la fila vertical no deseada. De no existir esta validación, se repetirían los dígitos en todas las filas de la pantalla.

```
pos_h <= font_x(6)&font_x(5)&font_x(4); -- Determinacion del pixel horizontal
pos_v <= font_y(6)&font_y(5)&font_y(4); -- Determinacion del pixel vertical

-- Determinacion del subindice para el caracter seleccionado
digito <= to_integer(unsigned(char));

-- Determinacion del subindice para el pixel horizontal
h <= to_integer(unsigned(pos_h));
-- Determinacion del subindice para el pixel vertical
v <= to_integer(unsigned(pos_v));

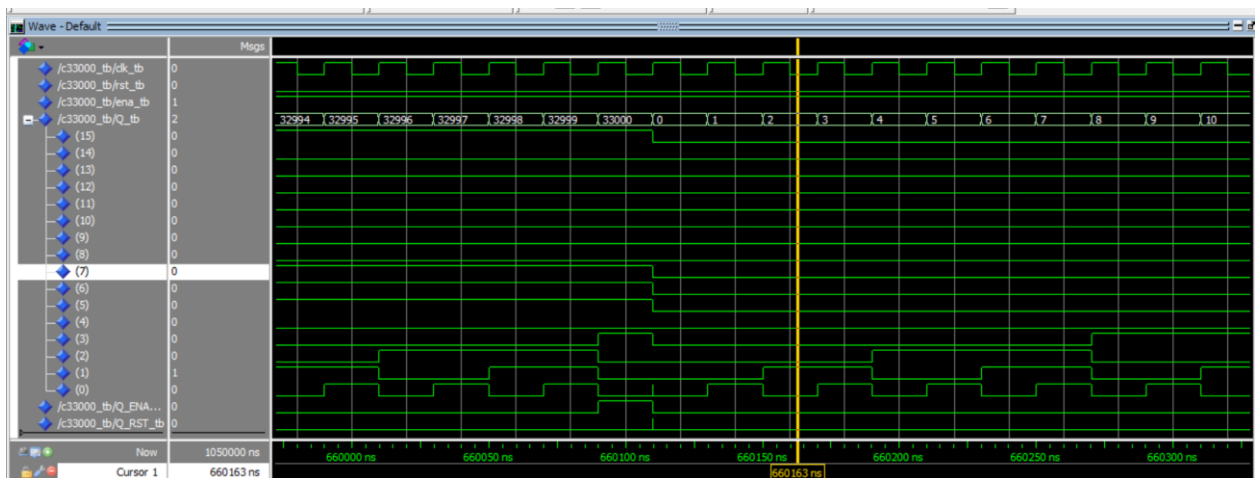
-- Condicion para habilitar salida (001)
v_cond <= (not font_y(9)) and (not font_y(8)) and font_y(7);
-- Caracter seleccionado
char_out <= ROM(digito)(v)(h);

mux_selector: v_mux_2x1
port map(
    mux_x => '0',
    mux_y => char_out,
    mux_sel => v_cond,
    mux_out => rom_out
);
```

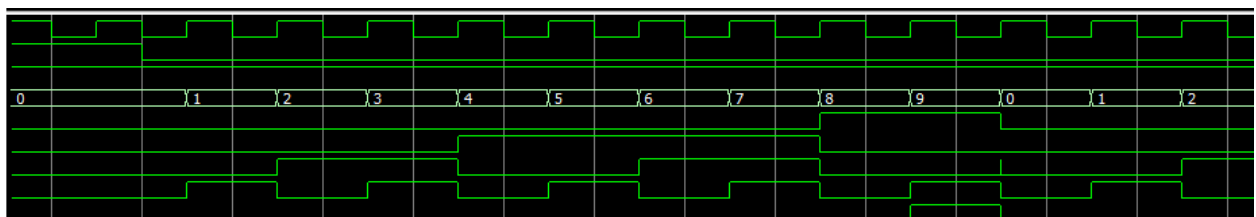
La salida del bloque v\_CGA está conectada a las entradas red\_i, grn\_i y blu\_i del bloque v\_control\_VGA. Dependiendo de la combinación de colores deseada para mostrar en pantalla, serán las señales que se envíen a cada color. Estas señales indicarán cuando deberá encenderse un bloque de 16\*16 píxeles de la pantalla y serán reenviadas a través de las salidas red\_o, grn\_o y blu\_o respectivamente. El bloque controlador VGA se encargará de enviar las señales de sincronismo al módulo de la FPGA así como identificar las posiciones de la zona activa (posiciones visibles dentro de la pantalla) que habilitarán que pasen señales por las salidas red\_o, grn\_o y blu\_o. Logra estas funciones a través de contadores de posición horizontal y vertical. Las salidas de los contadores (10 bits) serán realimentadas como entradas de v\_MUX y v\_CGA como fue explicado anteriormente. Es importante destacar que el reloj del controlador VGA tiene una frecuencia de 25MHz, la cual se logra a través de un bloque divisor de frecuencia.

## Testing de módulos

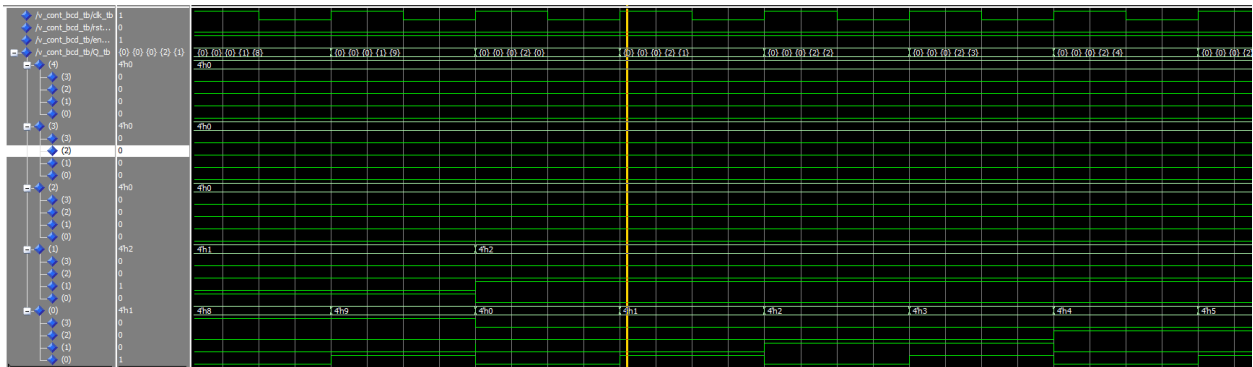
### v\_cont\_33000\_tb.vhd



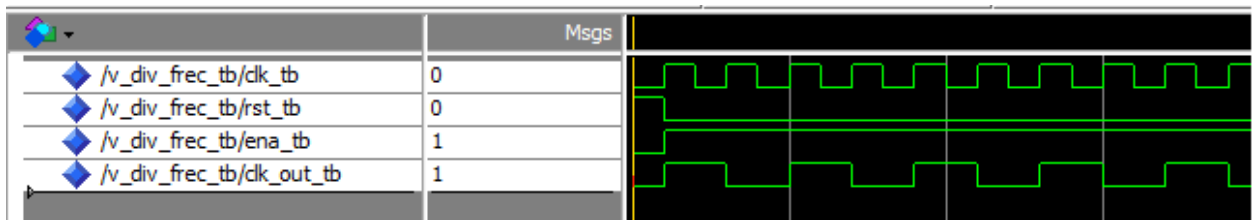
### v\_cont\_BCD\_base\_tb.vhd



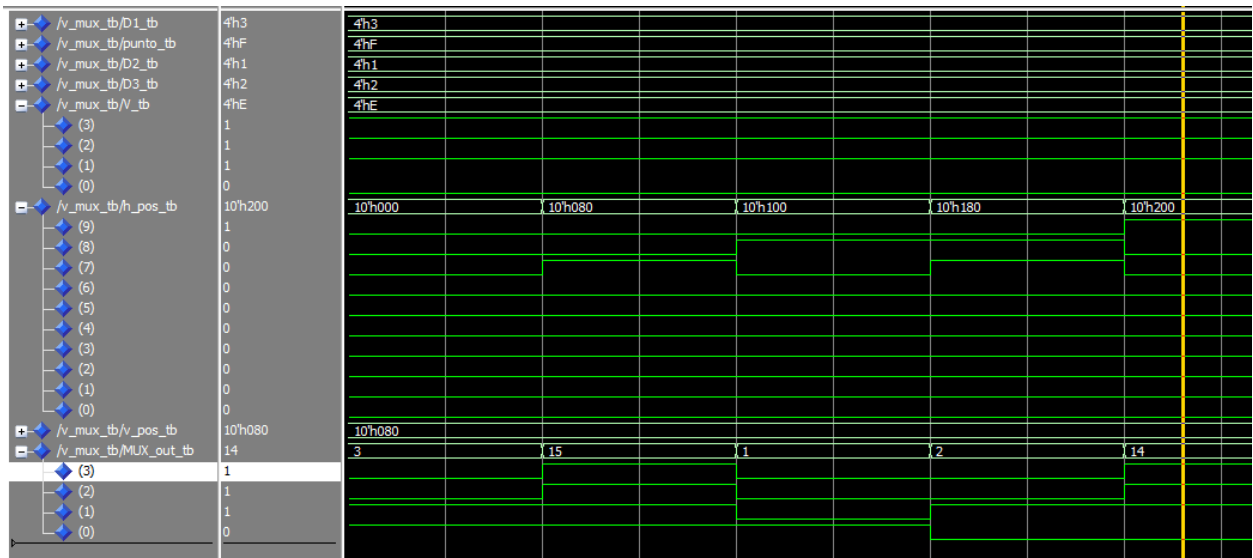
**v\_cont\_BCD\_tb.vhd**



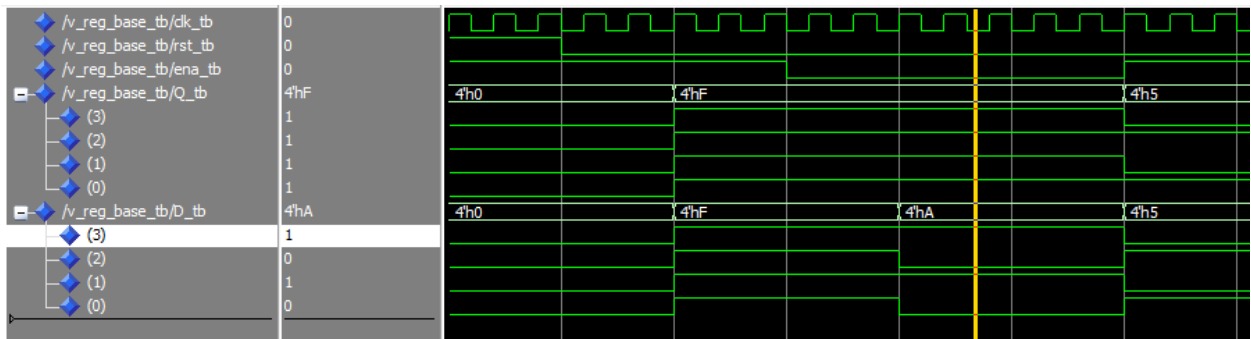
## v\_div\_freq\_tb.vhd



## v\_MUX\_tb.vhd



## v\_reg\_base\_tb.vhd



## v\_reg\_tb.vhd

