

Controlador VGA

VGA (Video Graphics Array) es un controlador y estándar para visualización de video, introducido por IBM en 1987 para las primeras computadoras personales. Aunque la tecnología puede parecer obsoleta, es a partir de este legado que se originaron muchos de los nombres y tiempos de las señales.

Teoría del controlador

Es un componente que controla 5 señales básicas

- HS: Sincronía horizontal.
- VS: Sincronía vertical.
- Colores
 - R: Rojo.
 - G: Verde.
 - B: Azul.

Trabaja en la base de emisión de energía en el espectro RGB proporcional al voltaje correspondiente a las señales R(Red), G(Green) y B(Blue). Cada punto coloreado es un *pixel* (picture element). La pantalla despliega *pixeles* comenzando en la esquina superior izquierda avanzando a la derecha, línea por línea, hasta la parte baja de la pantalla. Un pulso de sincronía horizontal es necesario para cada nueva línea. Una vez que se alcanza la parte inferior de la pantalla, un pulso de sincronía vertical provoca un nuevo comienzo desde la parte superior izquierda.

Las entradas al monitor R, G y B son analógicas; sin embargo, no es necesario un convertidor analógico externo porque la tarjeta **Basys3** tiene salidas digitales que son convertidas a analógicas mediante un simple circuito de resistencias y un conector como el mostrado en la **Figura 1**.¹

Como puede observarse en la misma **Figura 1**, la tarjeta soporta **12 bits para el color** (Rojo 4bits, Verde 4bits y Azul 4bits), lo cual produce 4,096 (2^{12}) colores diferentes.

Típicamente las pantallas utilizan de **240 a 1200 filas y de 320 a 1600 columnas**. El tamaño total de una pantalla y el número de filas y columnas determinan el tamaño de cada píxel, es decir, la resolución.

Tomado como caso de estudio una resolución de la pantalla de 640 columnas por 480 renglones, consultamos los tiempos definidos para el estándar VGA [1], en el que encontramos que la pantalla tiene una frecuencia de refresco de **60Hz** y la frecuencia para desplegar un *pixel* es de **25Mhz**.

En la misma especificación del estándar VGA están definidos los demás valores de tiempo, sin embargo, procederemos a calcularlos para tener una mejor comprensión de su significado:

- **Señal de sincronía horizontal.** Se compone de 4 regiones:
 - Pulso de sincronía (SP).
 - **Back Porch** (BP).
 - Video horizontal (HV).

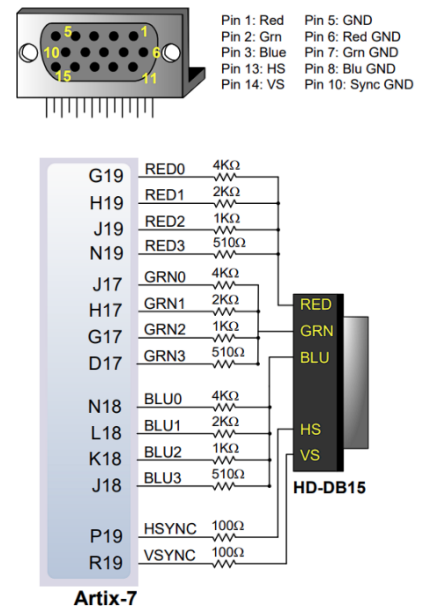


Figura 1: conector VGA.

¹ Imagen tomada del manual de referencia (https://digilent.com/reference/media/basys3:basys3_rm.pdf).

- **Front Porch (FP).**

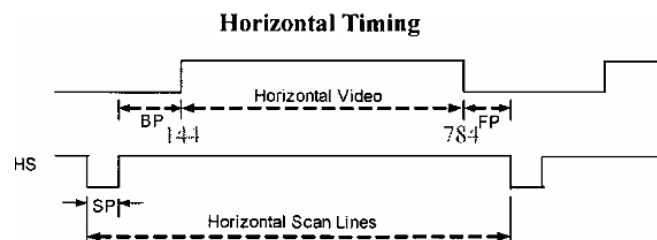
Como muestra la **Figura 2** :

1. La señal **SP** inicia una nueva línea junto con la señal **HS** en nivel bajo.
2. Después la señal es llevada a nivel alto para el **BP**. No se han escrito los **pixeles**.
3. Después del **BP**, la señal **HS** permanece en alto durante el periodo de **video horizontal**. Durante este tiempo, los **pixeles** se escriben de izquierda a derecha.
4. Finalmente, la señal **HS** permanece en alto durante **FP**. No se escriben **pixeles** a la derecha de la pantalla.

Para una resolución de **640x480 pixeles**, el tiempo para desplegar cada uno es de:

1/25Mhz = 0.04 us. Por lo tanto, tenemos:

- Tiempo para desplegar una línea = $640 \times 0.04 \text{ us} = 25.6 \text{ us}$.
- De acuerdo con la especificación VGA, el ancho del pulso **SP** debe ser **1/5** del tiempo de video horizontal, **SP** = $25.6\text{us}/5 = 5.12\text{us}$.
- **Pixeles** que requiere **SP** = $5.12\text{us}/0.04\text{us} = 128$.
- También, de acuerdo con la especificación, **BP** y **FP** deben ser **1/40** del tiempo de video horizontal, **BP** = **FP** = $25.6\text{us}/40 = 0.64\text{us}$.
- **Pixeles** que requiere **BP** = **FP** = $0.64\text{us}/0.04\text{us} = 16$.
- El número total de pulsos para una línea horizontal = **SP** + **BP** + **HV** + **FP** = $128 + 16 + 640 + 16 = 800$.
- Entonces, **tiempo para una línea** = $800 \times 0.04 = 32 \text{ us}$.
- Considerando la frecuencia de 60Hz, una pantalla (o trama) debe ser escrita en $1/60\text{Hz} = 16.67\text{ms}$. Debido a que cada línea requiere **32 us**, entonces es posible escribir = $16.67\text{ms}/32\text{us} = 521 \text{ líneas}$.
- Para una resolución de 640×480 , 521 es mayor que 480, por lo tanto, la frecuencia usada de **25 Mhz** (frecuencia del **pixel**) es perfecta para la señal de sincronía vertical.



Pixel clock = 25 MHz Pixel time = 0.04 μs
 Horizontal video = 640 pixels \times 0.04 μs = 25.60 μs
 Back porch, BP = 16 pixels \times 0.04 μs = 0.64 μs
 Front porch, FP = 16 pixels \times 0.04 μs = 0.64 μs
 Sync pulse, SP = 128 pixels \times 0.04 μs = 5.12 μs
 Horizontal Scan Lines = SP + BP + HV + FP
 = 128 + 16 + 640 + 16
 = 800 pixels \times 0.04 μs = 32 μs
 1/60 Hz = 16.67 ms / 32 μs = 521 horizontal scan lines per frame

Figura 2: tiempos de sincronía horizontal.

- **Señal de sincronía Vertical (Figura 3)**, se compone de 4 regiones:
 - Pulso de sincronía (SP).
 - **Back Porch** (BP).
 - Video horizontal (VV).
 - **Front Porch** (FP)

Si utilizamos una resolución de 640x480 *pixeles*, tenemos:

- La región de video vertical requiere = $480 \text{ líneas} \times 32 \text{ us} = 15.36 \text{ ms}$.
- De acuerdo con la especificación, el pulso de sincronía vertical debe ser aproximadamente de $1/240$ del tiempo de video vertical. $SP = 15.36 \text{ ms} / 240 = 0.064 \text{ ms}$.
- Como se requieren 32 us por línea, entonces: $0.064 \text{ ms} / 32 \text{ us} = 2 \text{ líneas}$.
- Quedan $521 - 480 - 2 = 39$ líneas; de acuerdo con la especificación, **BP** ocupa el 75% y FP el 25%, entonces $BP = 39 \times 0.75 = 29 \text{ líneas}$ y $FP = 10 \text{ líneas}$.

Como muestra la figura:

1. La señal **VS** está en nivel bajo por 2 líneas para el pulso **SP**.
2. VS es llevado a alto para las restantes 519 líneas ($BP+VV+FP=29+480+10=519$).
3. No existe video visible en las 29 líneas del **BP**, es visible durante las 480 líneas y nuevamente no es visible durante las restantes 10 líneas.
4. El contador continúa hasta 521, la secuencia comienza nuevamente y dibuja nueva trama.

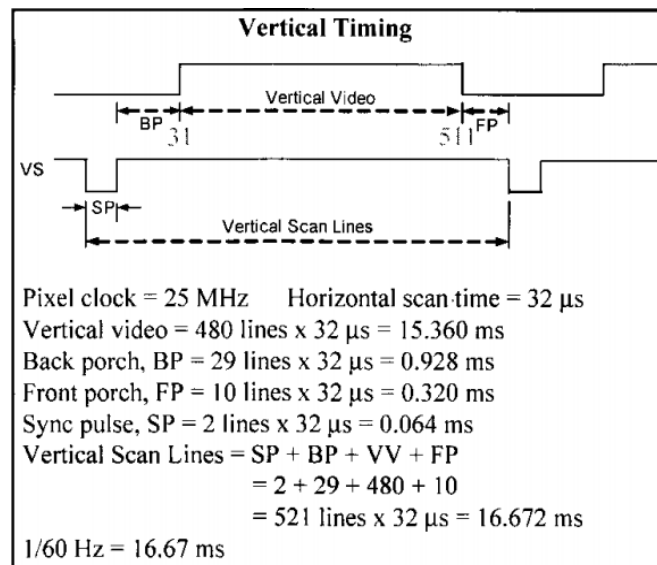


Figura 3: tiempos de sincronía vertical.

Para cualquier resolución, la frecuencia de reloj del **pixel** puede ser calculada como:

Given: a target HV and VV pixel resolution

Horizontal constraints

HSP = $1/5 \cdot HV$ (horizontal sync pulse pixels)
 HBP = $1/40 \cdot HV$ (horizontal back porch pixels)
 HFP = $1/40 \cdot HV$ (horizontal front porch pixels)

Vertical constraints

VSP = 1/240 * VV (vertical sync pulse lines)
VFP+VBP = 0.08125 * VV
VBP = .75 * (VFP+VBP) (vertical back porch lines)
VFP = .25 * (VFP+VBP) (vertical front porch lines)

where $HSP+HBP+HV+HFP = HP_{total}$ pixels and $VSP+VBP+VV+VFP = VP_{total}$ lines.

Recall that VP_{total} must occur in $1/60^{\text{th}}$ of a second. Then,

$$\text{and } T_{\text{line}} / H P_{\text{total}} = T_{\text{pixel}} \text{ ms}$$

and $T_{\text{line}} / H P_{\text{total}} = T_{\text{pixel}} \text{ ms}$

Referencias:

- [1] “VGA Signal 640 x 480 @ 60 Hz Industry standard timing”. Consultado: el 2 de octubre de 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.tinyvga.com/vga-timing/640x480@60Hz>