



SISTEMA DE CONTROL DE RECTIFICADOR TRIFASICO EMBEBIDO EN FPGA

MANUAL DE USUARIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Gómez, Guido Nicolás – CX: 12-0633-3

Ingeniería Electrónica (Modificación 2004) plan 1991

Paz, Marcos Fabián – CX: 12-0055-2

Ingeniería Electrónica (Modificación 2004) plan 1991

Tutor: Ing. María de los Ángeles Gómez López

Cotutor: Ing. Humberto Agliano

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

1) Contenido

1) Contenido.....	2
2) Descripción.....	3
3) Vista del equipo - Esquema y partes.....	3
a. Dispositivo FPGA.....	5
b. Transformadores	5
c. Adaptador de entrada	5
d. Etapa de salida y placa de excitación	6
e. Puente de tiristores	7
f. Placa de Interconexión	8
4) Configuración de la placa del Dispositivo FPGA y carga del programa	8
5) Parámetros configurables en la interfaz HMI	12
6) Explicación de menús de navegación.....	14
a. Pantalla principal	14
b. Menú principal.....	14
c. Forma de pulsos	15
d. Angulo de disparo.....	16
e. Conversor A/D	19
f. Frecuencia.....	20
g. Tipo de puente.....	20
h. Ancho de pulso	21
7) Instrucciones de uso	21
8) Advertencias.....	22
i. Advertencia de medición con osciloscopio	22
9) Problemas conocidos	23

2) Descripción

Este equipo consiste en un rectificador trifásico que puede ser configurado para trabajar como:

- Puente Rectificador Controlado Trifásico de Onda Completa
- Puente Rectificador Controlado Trifásico de Media Onda positivo.
- Puente Rectificador Controlado Trifásico de Media Onda negativo.
- Puente Rectificador Controlado Monofásico de Onda Completa.
- Puente Rectificador Controlado Monofásico de Media Onda.

El puente es controlado por un sistema embebido en tecnología FPGA, que puede ser configurado por medio de una Interfaz Hombre Maquina HMI compuesto por un teclado de 16 teclas y una pantalla LCD.

Este sistema es capaz de comandar las diferentes configuraciones del puente trifásico de tiristores, proveyendo a los semiconductores las señales de disparo necesarias en sincronismo con las tensiones de alimentación del puente.

El mismo consta principalmente de un dispositivo FPGA del fabricante Altera, integrado en una placa educacional comercial. La misma se interconecta con otros circuitos de funcionamiento necesarios, los cuales tienen puertos de interconexión para la comunicación eléctrica del conjunto. Las conexiones entre las distintas etapas se especificarán más adelante en el manual.

3) Vista del equipo - Esquema y partes

A continuación, se muestra un esquema en bloques global de todas las etapas del conjunto integradas y comunicadas entre sí (Fig. 1).

A modo de aclaración, el set experimental que se esquematiza en la Figura 1 muestra la interconexión completa para utilizar el puente en **modo trifásico de onda completa**, pudiendo visualizar todos los bloques del sistema. El equipamiento encargado del control del puente se muestra en la (Fig. 2). A continuación, se detallan las partes importantes del equipo:

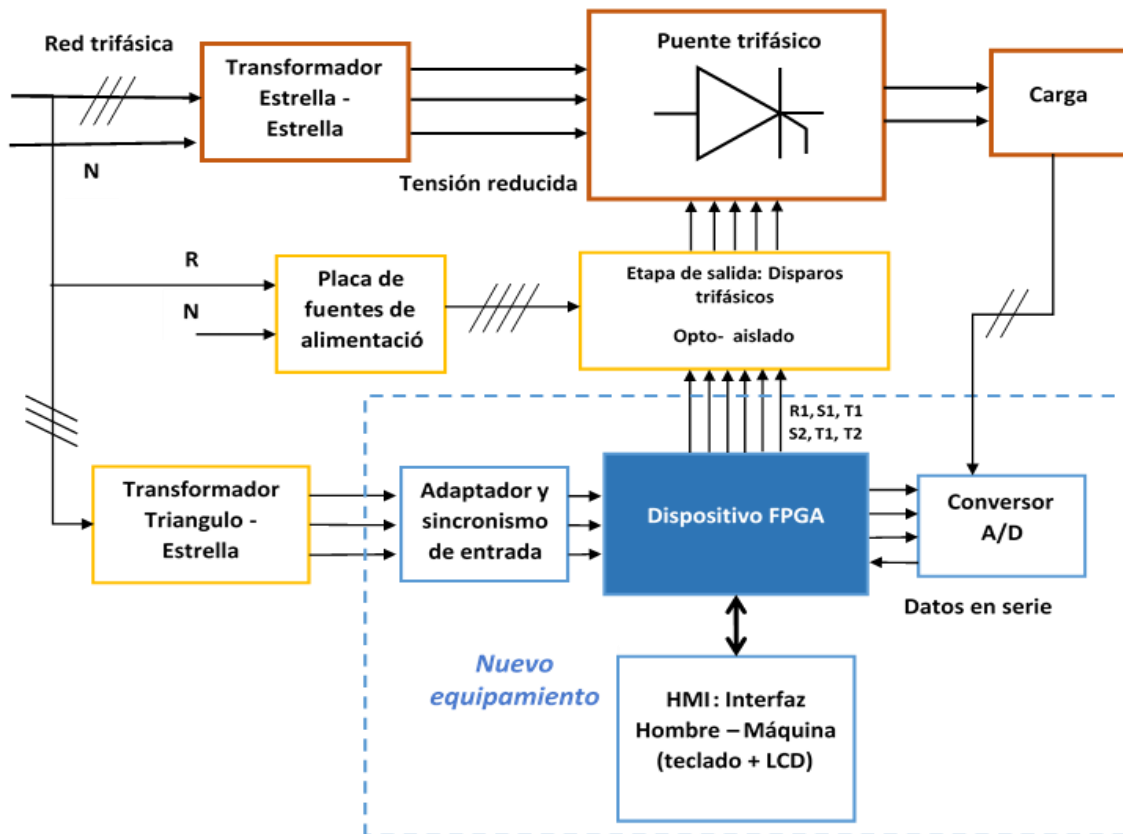


Figura 1: Set experimental para ensayar los modos rectificadores de onda completa

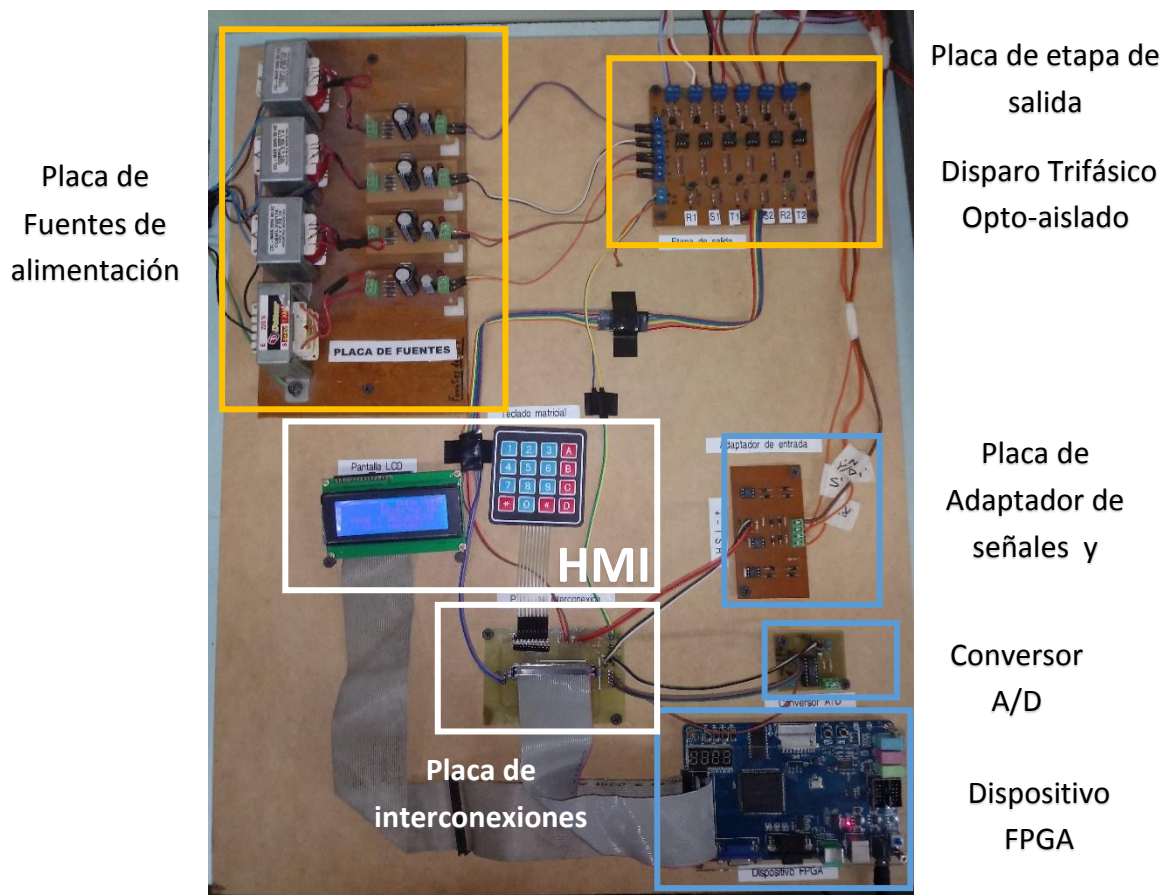


Figura 2: Equipamiento generador de los pulsos de disparo

a. Dispositivo FPGA

El dispositivo FPGA empleado en la implementación del controlador forma parte del Sistema de desarrollo educacional mostrado en la Fig. 3. El dispositivo se comunica eléctricamente con las demás etapas del proyecto mediante un cable IDE (Integrated Device Electronics) conectado a través del puerto correspondiente disponible en la placa educacional.

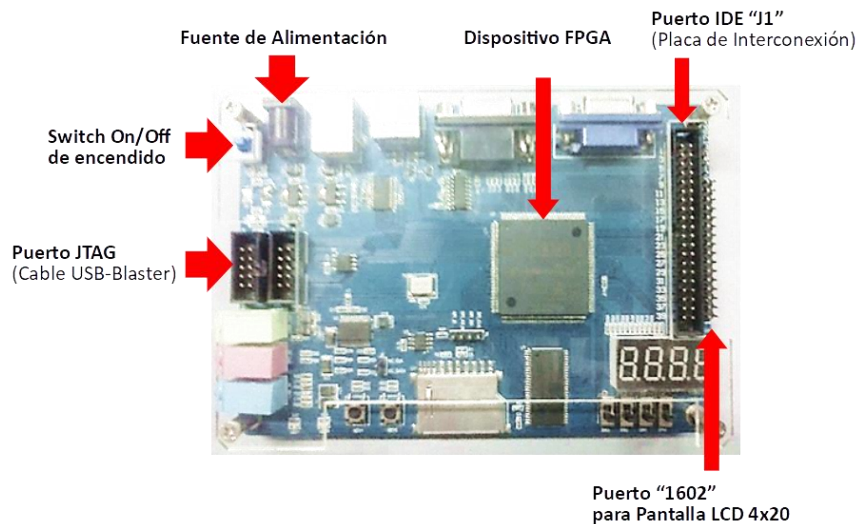


Figura 3: Dispositivo FPGA implementado en la placa educacional de Altera

b. Transformadores

Se utilizan dos transformadores, uno **Estrella – Estrella** para alimentación del Puente de Tiristores y otro **Triangulo – Estrella** para desfazar las señales de entrada 30º entre Tensiones de Línea y de Fase; ambos son de secundario de 24V para trabajar con tensiones reducidas. Pueden verse en la Figura 4.

a. Adaptador de entrada

En esta placa ingresan las tensiones de la red trifásica mediante las cuales se generan señales digitales con lógica de 3 voltios para ser ingresadas y tomadas por la FPGA. En esta etapa se aíslan eléctricamente las señales de la red trifásica y las señales de funcionamiento de la FPGA. Por medio de este dispositivo se obtiene el sincronismo del sistema. La placa fue diseñada para el presente proyecto y puede verse en la Figura 5.

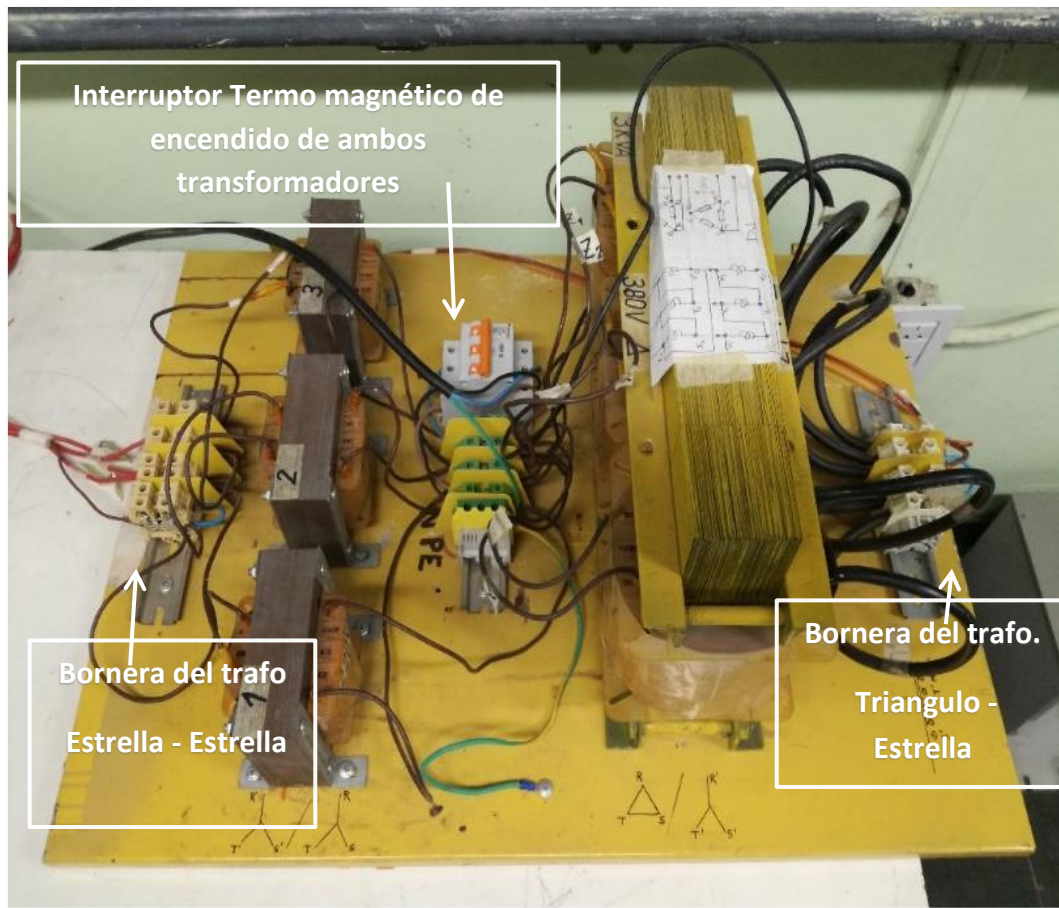


Figura 4: Transformadores Estrella - Estrella (izquierda) y Triángulo - Estrella (derecha)

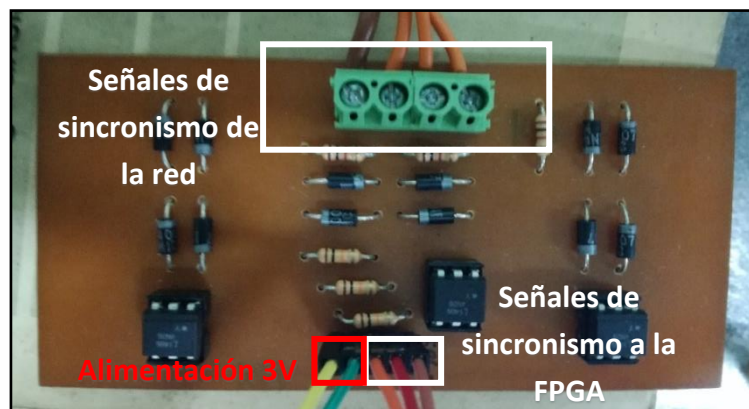
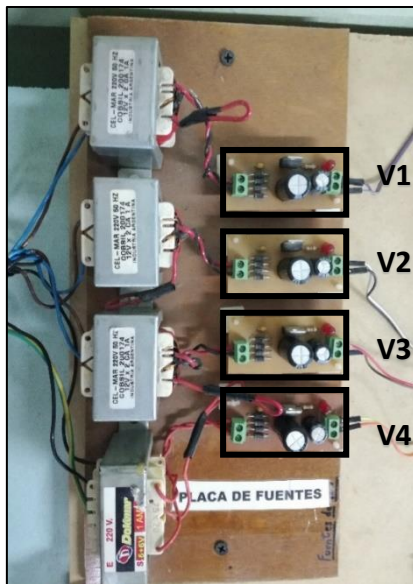


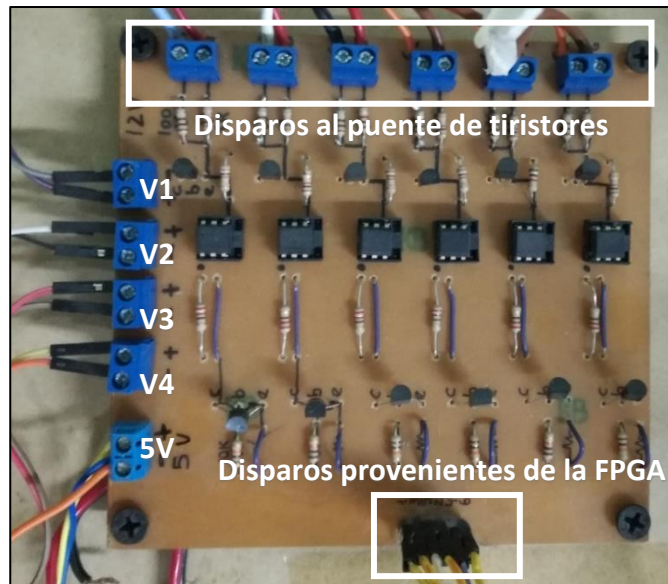
Figura 5: Placa de Adaptación de entrada

b. Etapa de salida y placa de excitación

Esta placa es una etapa de aislamiento y adaptación entre los pines de salida de la FPGA que generaran los pulsos de disparo y los pines de excitación de los tiristores. Se muestra la etapa en la Figura 6. Esta placa cuenta con las fuentes necesarias para suministrar alimentación a la placa de salida.



(a)



(b)

Figura 6: (a) Placa de fuentes de alimentación (b) Placa de la Etapa de Salida opto-aislada

c. Puente de tiristores

El puente rectificador utilizado (foto del puente) es un puente trifásico basado en tiristores, este mismo puente se utilizará para hacer las pruebas tanto de los pulsos de disparo destinados a rectificadores trifásicos y monofásicos, y a su vez de media onda y onda completa.

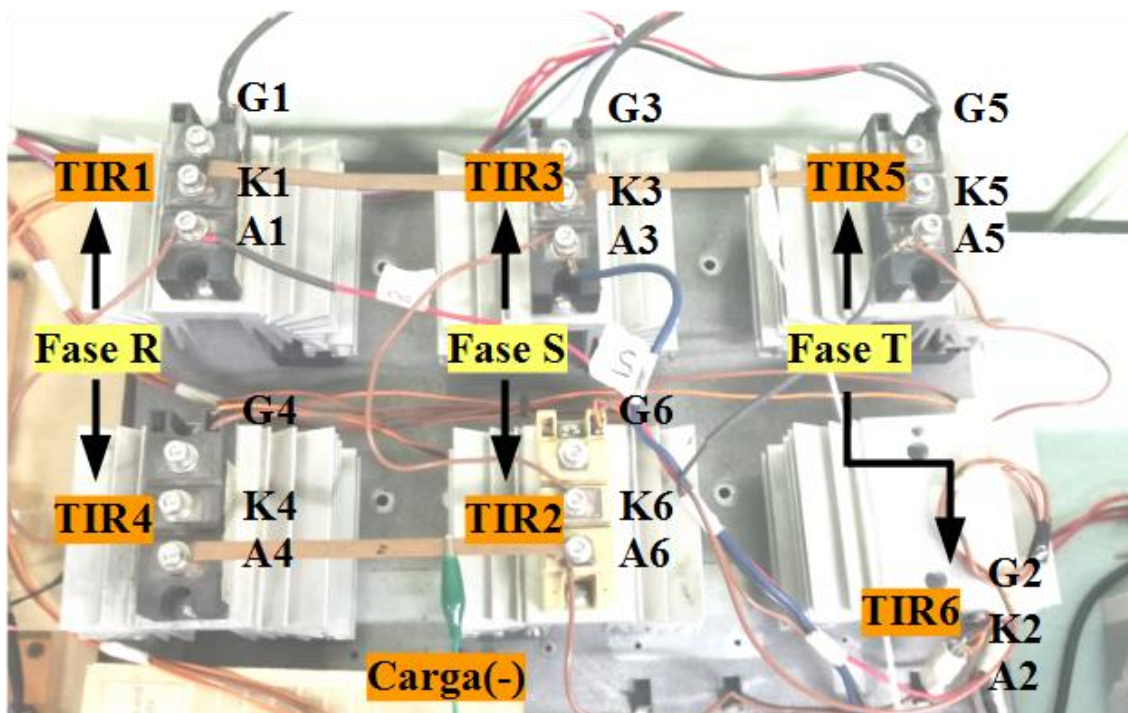


Figura 7: Foto del puente de tiristores

d. Placa de Interconexión

Esta placa no forma parte del diagrama en bloques del sistema puesto que su única función consiste en lograr un conexionado con mayor orden y prolijidad entre los pines de la placa educacional FPGA y las demás partes del sistema. A continuación, en la Figura 8 se muestra una foto de dicha placa de conexión.

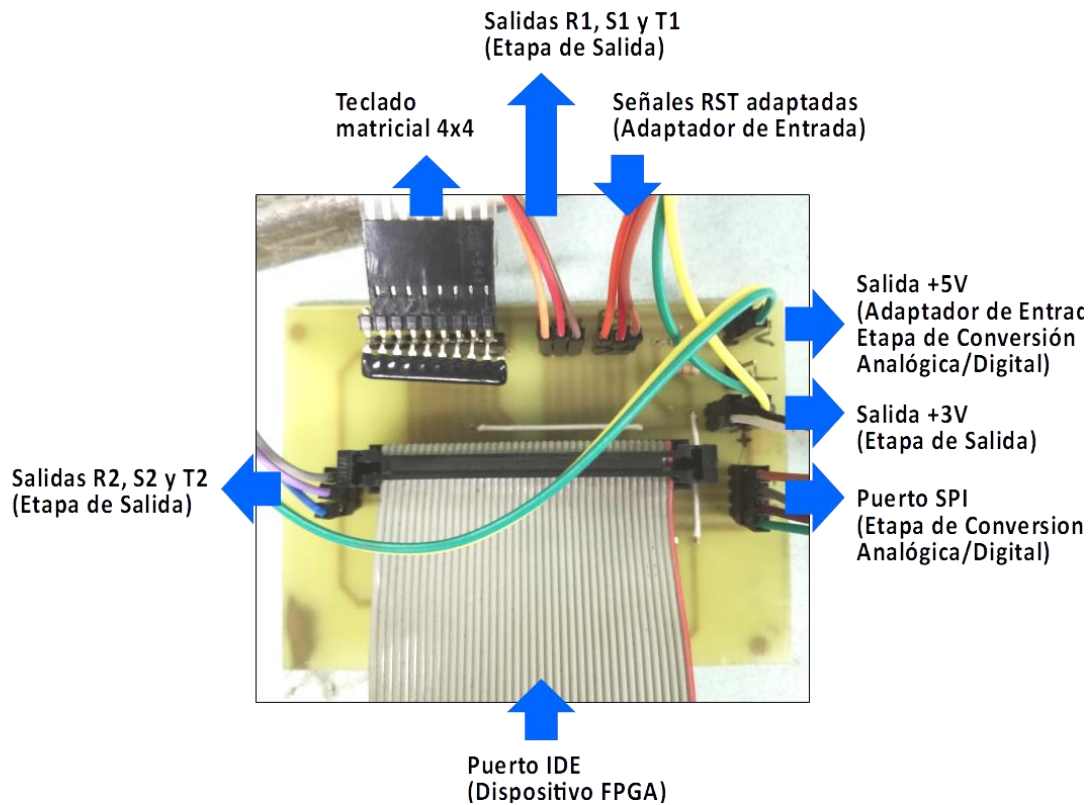


Figura 8: Placa de Interconexión

4) Configuración de la placa del Dispositivo FPGA y carga del programa

Una vez hechas y verificadas las conexiones entre las partes del sistema (sin todavía estar energizadas) ya se puede pasar a la programación del Equipo. El dispositivo posee memoria volátil, por lo que el programa de funcionamiento del controlador se borra al desenergizar la placa educacional. Debido a esto, cada vez que se quiera utilizar el equipo se deben seguir los pasos enunciados más adelante para programar el dispositivo con el programa principal de funcionamiento del rectificador.

Los pasos a seguir para la programación de la FPGA son los siguientes:

- 1) Energizar la FPGA conectándola al enchufe y presionando el botón de encendido. (Figura 9).

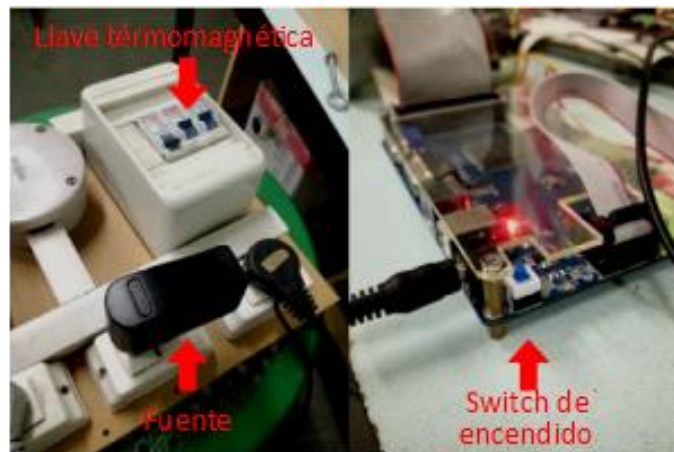


Figura 9: Modo físico de conexión (izquierda) y encendido de la FPGA (derecha)

2) Conectar la FPGA a la computadora mediante el cable USB Blaster (Figura 10)



Figura 10: Conexión del cable USB Blaster en la FPGA y la computadora

- **Paso especial: Instalar driver USB Blaster:** (si el driver ya está instalado, saltar este apartado). Al programar por primera vez el equipo en una nueva PC se debe seguir este paso. De lo contrario, se continúa la programación directamente en el punto siguiente saltando las presentes indicaciones de instalación del driver.
 - i. Conectar USB Blaster al puerto USB de la PC
 - ii. Ubicar carpeta con los drivers en el explorador de archivos en el directorio "C:\Altera\13.0sp1\quartus\drivers\usb-blaster" (Figura 11):

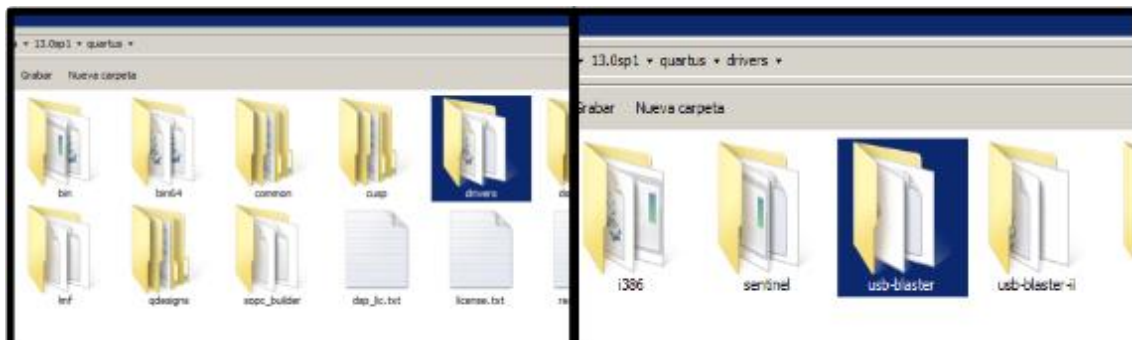


Figura 11: Carpeta con archivos de drivers de instalación

- iii. Finalizar la instalación (Figura 12):

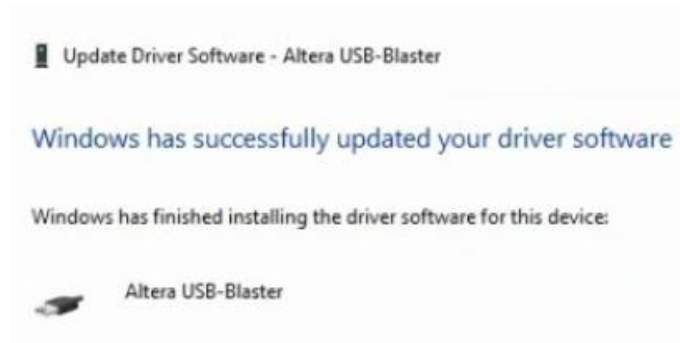


Figura 12: Fin de la instalación del driver

- 3) Abrir el proyecto en Quartus II, esto se puede hacer directamente abriendo el archivo del proyecto, cuya extensión es “.qpf”. (Figura 13)

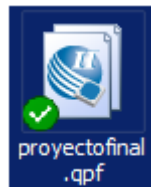


Figura 13: Archivo para abrir el proyecto en el programa Quartus

- 4) Una vez ya ubicados en la ventana principal del software Quartus, se debe seleccionar el botón de programación en la barra de herramientas del software, situada en la parte superior del área de trabajo como se muestra en la Figura 14.

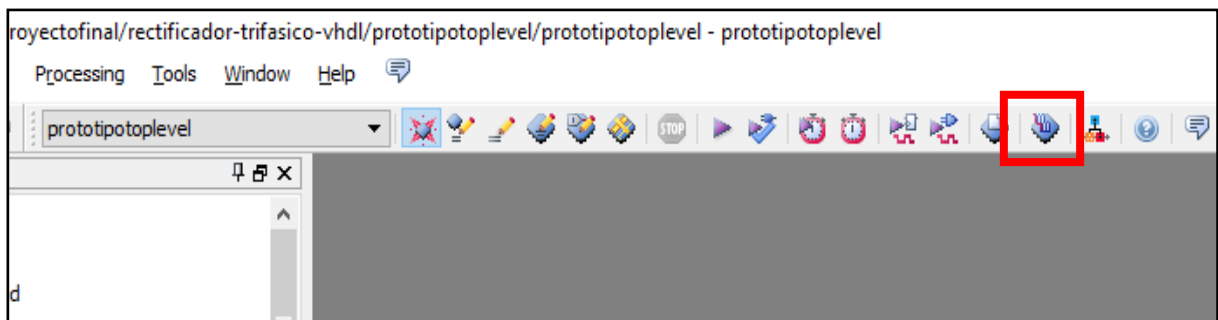


Figura 14: Botón de programación en la barra de herramientas en el proyecto (captura de pantalla)

- 5) El software Quartus abrirá una ventana emergente llamada “Programmer”. En la misma, si el botón “Start” se encuentra habilitado, la programación se realizará inmediatamente al hacer clic en este botón (Figura 15). Si el botón Start se encuentra inhabilitado, hay que realizar los pasos de los puntos siguientes.

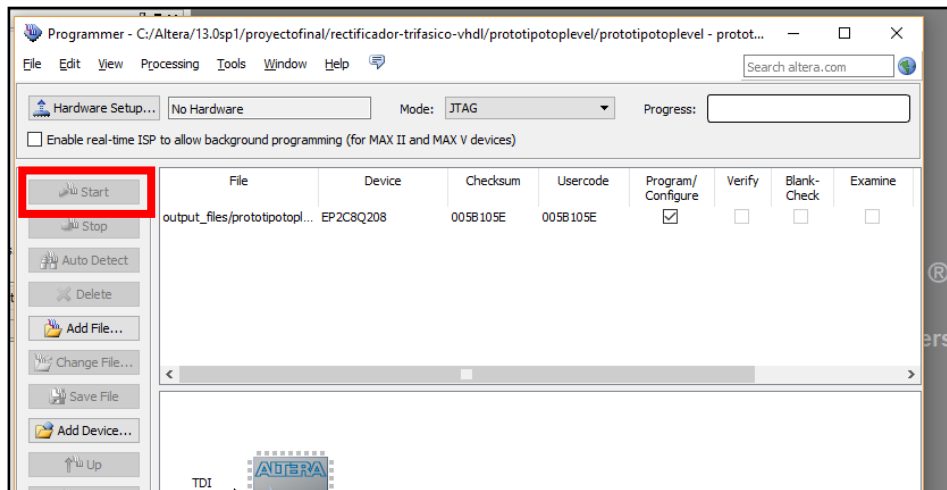


Figura 15: Botón de Start en la ventana emergente para la programación.

- 6) En caso de que la FPGA no haya sido detectada aun por el software (botón “Start” inhabilitado), hay que dirigirse al botón “Hardware Setup...” en la misma ventana, como se ve en la Figura 16.

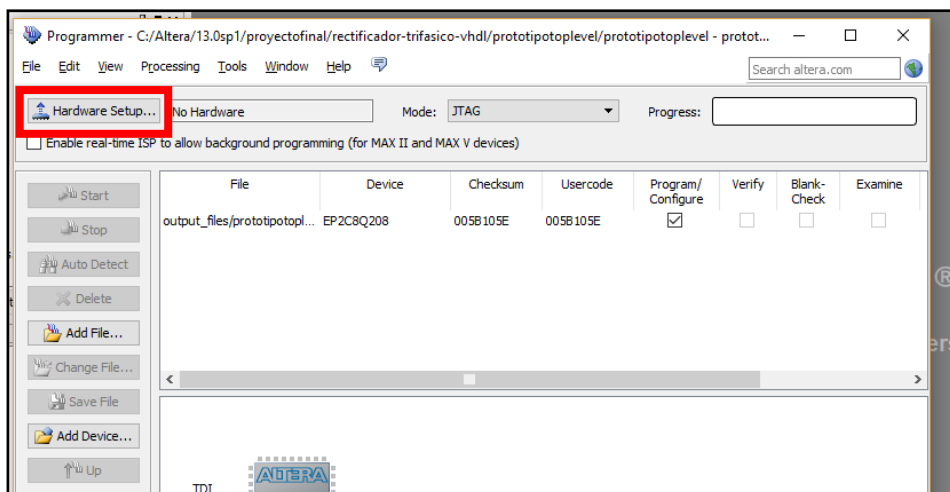


Figura 16: Botón de Start en la ventana emergente para la programación

- 7) Luego en la nueva ventana emergente se debe seleccionar el Hardware “USB-Blaster 0” desplegando la pestaña correspondiente al parámetro “Currently selected Hardware”. Una vez se agregue “USB-Blaster 0” a la lista de “Available Hardware items” se selecciona “Close”. La ventana y los parámetros mencionados se pueden apreciar en la Figura 17.

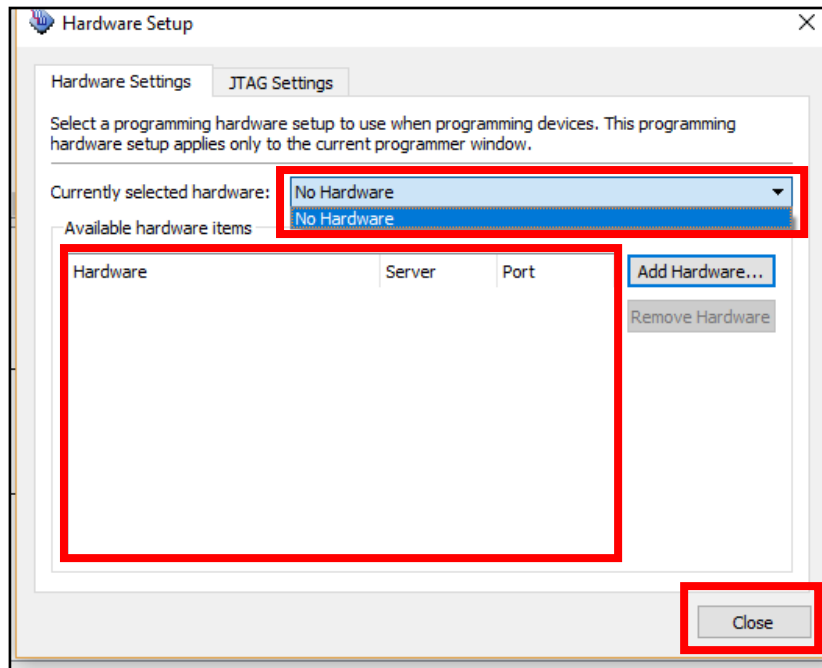


Figura 17: Ventana emergente de “Hardware Setup” para la detección de la placa.

- 8) Finalmente, seleccionar el botón de Start que ya se encontrará habilitado. Cuando la barra verde de progreso indique “100% Successful” (Figura 18), la FPGA ya quedará programada con el controlador del rectificador.

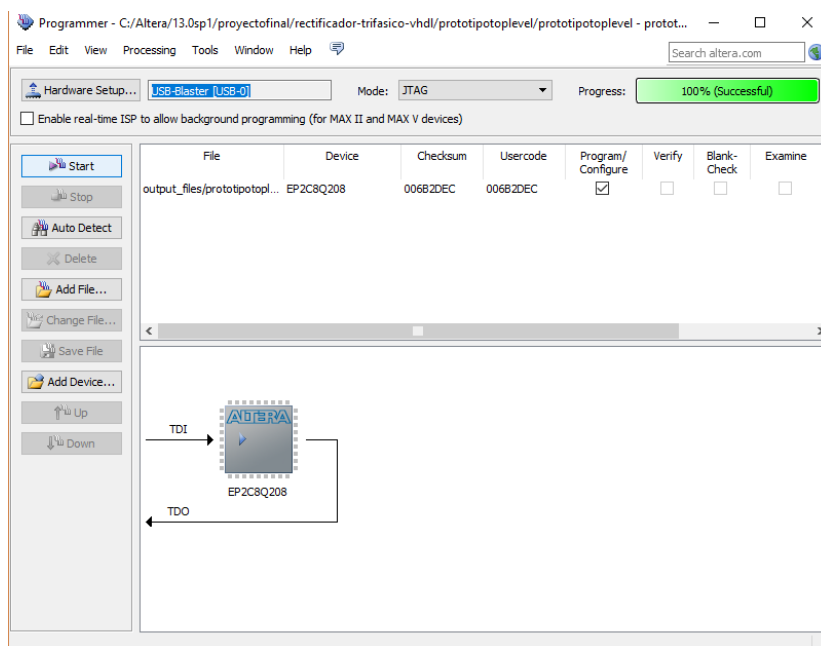


Figura 18: Operación exitosa de programación de la FPGA

5) Parámetros configurables en la interfaz HMI

Los parámetros que este equipo puede configurar mediante la interfaz visual interactiva (teclado y LCD) son los expuestos en la Tabla 1 que se muestra a continuación.

N°	PARÁMETRO	CONFIGURACIONES POSIBLES	BREVE DESCRIPCIÓN
1	Tipo de rectificador	- Rectificador monofásico de media onda - Rectificador monofásico de onda completa - Rectificador trifásico de media onda + o - - Rectificador trifásico de onda completa	Especifica el tipo de puente de tiristores con el que se trabajará.
2	Frecuencia de la red	50 Hz 60 Hz	Especifica la frecuencia de operación de la red actual.
3	Ángulo de disparo	De 0° a 180° ⁽¹⁾	Configura el ángulo de disparo de las señales de control de los tiristores.
4	Forma de pulsos de control	- Escalón - Pulso único - Tren de pulsos	Especifica la forma de las señales de salida que dispararán los tiristores.
5	Medición de tensión de salida	Activado/Desactivado	Habilita o deshabilita el monitoreo de la tensión en carga medida por el conversor analógico digital.
6	Ancho de pulso ⁽²⁾	Elección entre 2%, 5%, 10% y 25%, del semiciclo de la señal de entrada.	Define el ancho de pulso de las señales de control de salida en algunos modos de trabajo

Tabla 1: Parámetros posibles a configurar por Interfaz Visual Interactiva

(1): el ángulo límite varía según el tipo de rectificador configurado, siendo de 120° en el caso del rectificador trifásico de onda completa, y de 180° en el caso de los rectificadores monofásicos y trifásico de media onda.

(2): este parámetro entra en juego sólo al configurar las formas de pulsos de control de tipo “Pulso único” y “Escalón”.

6) Explicación de menús de navegación

Ahora procederemos a explicar las pantallas de configuración con las que cuenta el equipo y la navegación en el menú del mismo.

a. Pantalla principal

Inicialmente, se podrá observar en el LCD la pantalla principal mostrada en la Figura 19.



Figura 19: Pantalla principal del display LCD

En ella se puede ver la siguiente información:

- 1) Tipo de rectificador configurado (*Parámetro 1 – Primer línea*)
- 2) Frecuencia de trabajo actual (*Parámetro 2 – Segunda línea*)
- 3) Ángulo de disparo configurado (*Parámetro 3 – Segunda línea*)
- 4) Ancho de pulso actual configurado (*Parámetro 4 – Tercer línea*)
- 5) Modo de trabajo (*Parámetro 5 – Segunda línea*)
- 6) Mensaje “Presione cualq tecla” (*Cuarta línea*)

Esta será la **pantalla por defecto** del equipo, que mostrará toda esa información.

Para navegar en el **menú principal** del dispositivo, se debe oprimir la **tecla “*”**. Si se desea volver a la pantalla principal, se debe presionar nuevamente esta tecla.

e. Menú principal

Al salir de la pantalla principal, se accederá al siguiente menú principal. En este menú se seleccionarán los distintos parámetros a configurar que ofrece el equipo, eligiendo los mismos mediante las teclas “A”, “B”, “C” o “D”. La primera pantalla del menú principal se aprecia en la Figura 20.

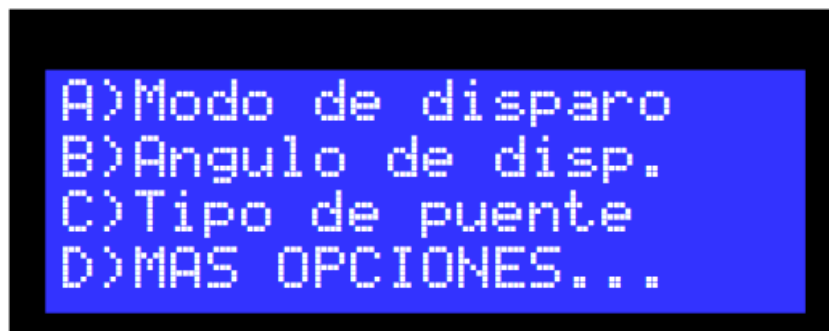


Figura 20: Menú principal - Primera parte

En esta pantalla se observan 3 posibles configuraciones a realizar, más una cuarta opción para seguir navegando en el menú. Al elegir esta opción, se mostrará en pantalla la segunda parte del menú principal, que mostrará más parámetros posibles a configurar, como indica la Figura 21.

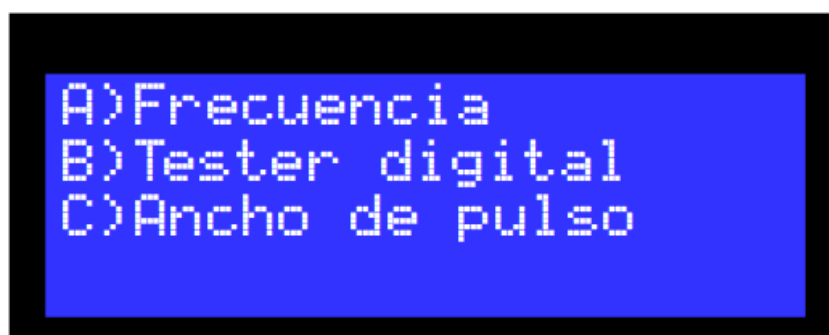


Figura 21: Menú principal - Segunda parte

A continuación, se verá cada opción del menú principal disponible, donde se podrá variar cada parámetro a configurar.

f. Forma de pulsos

Al elegir este menú, se visualizan las opciones que se tiene para los distintos tipos de señales de disparo que se pueden generar, apareciendo el mensaje en pantalla con los tipos mencionados como se muestra en la Figura 22.

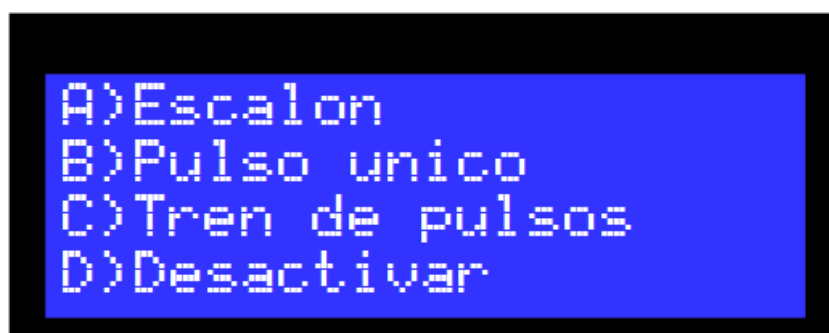


Figura 22: Opciones posibles para elegir la forma de pulsos de salida

g. Angulo de disparo

Modo Manual

En este modo se tendrá la pantalla mostrada en la Figura 23.



Figura 23: Menú de selección del ángulo de disparo o conducción

En ella se puede ver la siguiente información:

1) Tipo de ángulo a configurar (Primera línea)

Según el menú anterior de navegación (apartado “d. Modo de disparo”), se muestra en pantalla el tipo de ángulo a variar, que puede ser “de disparo” o “de conducción”.

2) Rango de valores aceptados (Segunda línea)

La segunda línea especifica el rango de valores aceptables para configurar el ángulo de disparo o de conducción. El límite superior será determinado por el tipo de puente configurado, pudiendo valer 120° o 180°.

3) Modo de configuración actual (Tercera línea)

Se detalla el modo de configuración actual en que se trabaja para cargar un valor numérico para que trabaje el rectificador controlado. Puede ser “manual” o “automático, mostrado por las referencias “-Man-” o “-Auto-” respectivamente.

4) Cursor de dígito actual (Tercera línea)

Es el pequeño cursor apuntando hacia abajo, indicando el dígito actual que se cambiará de valor al presionar un número del teclado. Al presionar una tecla, se cargará el valor del número ingresado en el dígito actual señalado por el marcador. Una vez cambiado este valor, el marcador se moverá automáticamente a la derecha, para cambiar el dígito siguiente con la siguiente tecla que se presione. Cuando el marcador llega al último dígito del número de 3 cifras posible a configurar, volverá a su posición inicial, en el primer dígito de la izquierda.

5) Valor numérico actual a cargar (Cuarta línea)

Muestra en pantalla el número de 3 cifras que se cargó por teclado que se configurará en el controlador del equipo del rectificador trifásico controlado.

Finalmente, para que se establezca dicho ángulo como valor actual de trabajo, **se debe presionar la tecla "A"**. Hecho esto, se volverá a la pantalla principal, donde se podrá observar que el valor de ángulo configurado para el rectificador cambió y es el valor que se adquirió numéricamente.

A modo ilustrativo y sintético, el comportamiento interactivo del teclado en este modo manual es como se detalla en la Figura 24 a continuación.

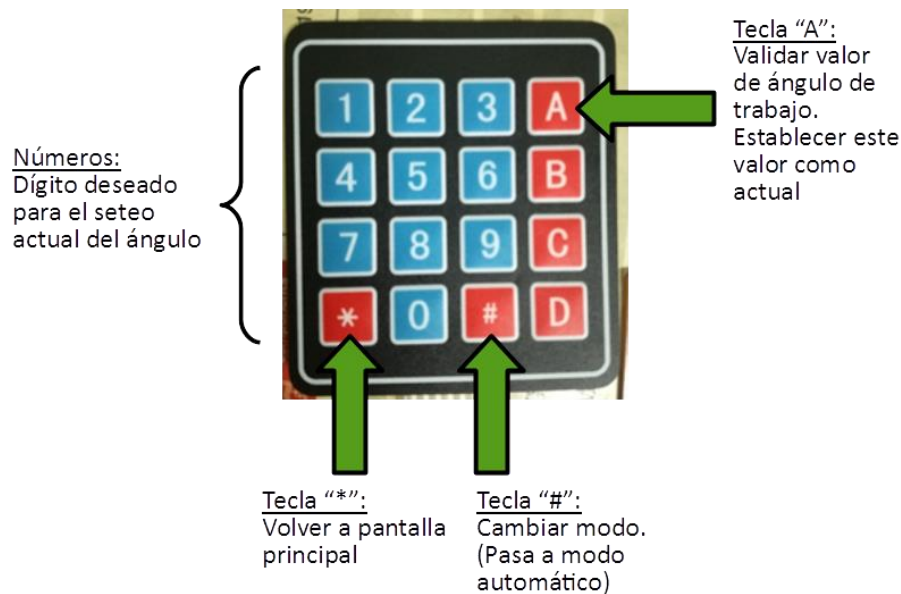


Figura 24: Comportamiento interactivo del teclado en modo manual

Modo Automático

En este modo se tendrá la pantalla mostrada en la Figura 25.



Figura 25: Menú de selección del ángulo de disparo o conducción

En ella se puede ver la siguiente información:

- 1) Tipo de ángulo a configurar (Primera línea)

Ídem al modo manual.

- 2) Rango de valores aceptados (Segunda línea)

Ídem al modo manual.

3) Modo de configuración actual (Tercera línea)

Ídem al modo manual.

4) Cursor de dígito actual (Tercera línea)

Es el pequeño cursor apuntando hacia abajo, indicando el dígito actual que se cambiará de valor al presionar un número del teclado. Al presionar una tecla, se cargará el valor del número ingresado en el dígito actual señalado por el marcador. Una vez cambiado este valor, el marcador no se moverá, quedando en el dígito actual para poder seguir variándolo por teclado. El cursor se moverá a un dígito adyacente si se presionan las teclas correspondientes a “Izquierda” o “Derecha” en el teclado. Cuando el marcador llega a un extremo del número de 3 cifras posible a configurar, llevará su posición a la del extremo opuesto correspondiente.

5) Valor numérico actual a cargar (Cuarta línea)

Ídem al modo manual.

Finalmente, para que se establezca dicho ángulo como valor actual de trabajo, **se debe presionar la tecla “A”**. Hecho esto, se volverá a la pantalla principal, donde se podrá observar que el valor de ángulo configurado para el rectificador cambió y es el valor que se adquirió numéricamente.

A modo ilustrativo y sintético, el comportamiento interactivo del teclado en este modo automático es como se detalla en la Figura 26 a continuación.

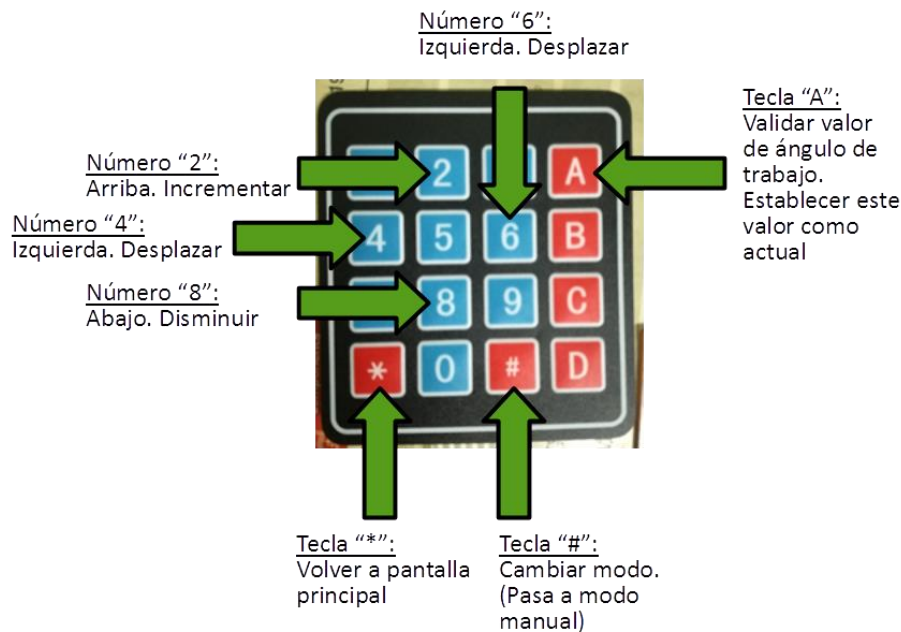


Figura 26: Comportamiento interactivo del teclado en modo automático

Valor Incorrecto

Puede ocurrir que el valor actual que se ingrese sea un valor fuera de rango de los límites mostrados por pantalla. En ese caso, se mostrará el mensaje por pantalla de la Figura 27.

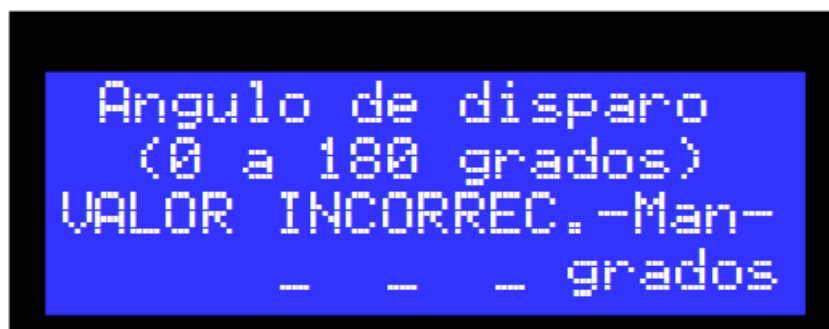


Figura 27: Mensaje mostrado al ingresar un ángulo fuera del limite

En esta pantalla, se indica que se ingresó un valor parcial incorrecto, por lo que no iba a poder ser cargado como parámetro de trabajo del rectificador controlado. Este menú borra el número que se había cargado y cambia el modo de adquisición a modo manual, por lo que el equipo queda listo para recibir algún valor numérico para ser cargado en el primer dígito del ángulo posible de 3 cifras.

Nota: si se presiona la tecla “A” en esta pantalla, el valor de ángulo que se configurará será de 0 grados.

NOTA: Atajo

Si nos encontramos en el menú principal podemos dirigirnos directamente a la selección del ángulo de disparo, esto se puede hacer presionando la **tecla “#”**, esto nos llevara a elegir el ángulo de disparo mediante el modo automático, si se desea utilizar el modo manual solo hay que presionar la tecla “#” una vez más como se indicó anteriormente.

h. Tester Digital (Conversor A/D)

Al elegir este menú, aparecerá el mensaje en pantalla ilustrado en la Figura 28.

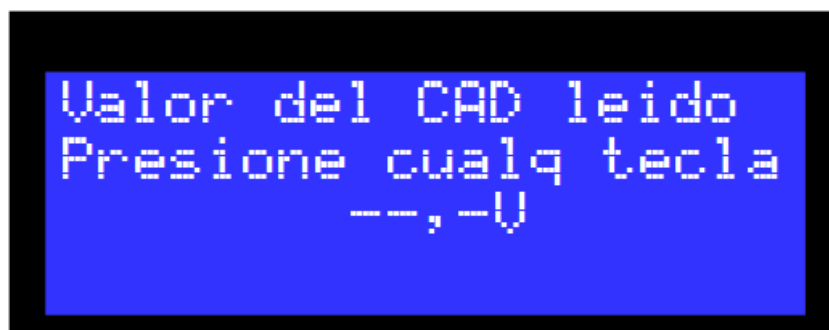


Figura 28: Menú de activación y visualización del CAD

Por defecto, al entrar en esta pantalla se pondrá en funcionamiento el módulo Conversor Analógico-Digital. La función del mismo es tomar la tensión en la carga que es alimentada por el puente de tiristores, para luego procesarla y mostrar en pantalla. Al presionar cualquier tecla en este menú, se volverá a la pantalla principal.

i. Frecuencia

Al elegir este menú, aparecerá el mensaje de la Figura 29 en pantalla.

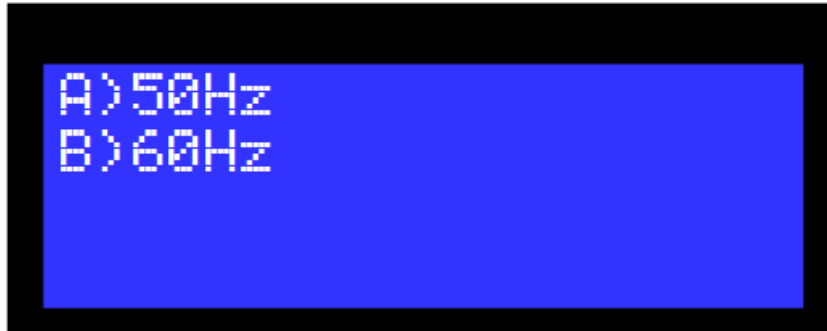


Figura 29: Menú de selección de la frecuencia de trabajo

Con las teclas se seleccionará el valor de frecuencia de la red trifásica a la que estará conectado el puente. Por defecto, el equipo trabajará a 50 Hz, que es la frecuencia de operación en la red de energía eléctrica nacional.

j. Tipo de puente

Al elegir este menú, aparecerá el mensaje en pantalla mostrado en la Figura 30.

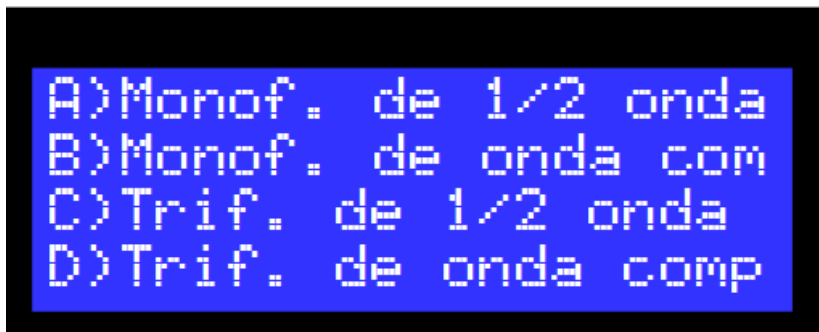


Figura 30: Menú de selección de tipo de puente

Con el teclado se elige el tipo de puente que se va a utilizar, dependiendo de la selección se pueden habilitar o deshabilitar algunos disparos de la placa, hay que revisar que las señales que se utilicen para el sincronismo sean las adecuadas para el tipo de puente que se eligió, de otro modo no se tendrán resultados correctos en el control del puente.

k. Ancho de pulso

Al elegir este menú, aparecerá el mensaje en pantalla de la Figura 31.



Figura 31: Menú de selección del ancho de pulso

Como se visualiza con el teclado se pueden elegir entre tres posibles anchos para las señales de disparo (siempre y cuando el equipo trabaje en modo pulso único o en modo tren de pulsos). Estos anchos corresponden al 2%, 5%, 10% o 25% del semiperiodo de la señal de entrada.

7) Instrucciones de uso

La puesta en funcionamiento del equipo consta de 4 grandes pasos:

1. **Energización:** se debe seguir todos los pasos del capítulo “6-a: Instrucciones de encendido – Energización de las partes” en la versión completa del manual, efectuando todos los sub pasos **excepto el último paso**, el “v”.
2. **Configuración del equipo:** con el equipo ya programado y energizado, se procede a configurarlo según nuestras necesidades o requerimientos de estudio mediante la **Interfaz Visual Interactiva**, especificando y cargando los parámetros deseados con sus respectivos valores a establecer. El **orden de configuración** de parámetros sugerido es el siguiente:
 - a. Tipo de puente
 - b. Frecuencia
 - c. Forma de pulsos
 - d. Modo de disparo
3. **Comprobación fundamental:** una vez configurado el equipo, se procede a realizar pruebas previas a la conexión del puente de tiristores. El capítulo “6-b: Instrucciones de encendido – Pruebas previas a la conexión del puente” habla de estas mediciones de revisión a realizar. Si no es la primera vez que se energiza y se trabaja con el equipo, se recomienda realizar únicamente la **comprobación fundamental** (apartado “iv” del capítulo 6-b), para asegurar una correcta generación de las señales de disparo para el puente rectificador.
4. **Energización de placa de fuentes:** realizados satisfactoriamente los 3 pasos anteriores, se procede a energizar la placa de fuentes para observar el comportamiento del puente rectificador. Este paso se detalla en el apartado

“v” del capítulo “6-b: Instrucciones de encendido – Pruebas previas a la conexión del puente”.

8) Advertencias

Al iniciar el equipo, si no se muestra en el LCD la pantalla principal, esto quiere decir que el dispositivo detectó un error y procede a auto deshabilitarse hasta corregir dicho error. Mientras se encuentra en este estado de “error detectado”, la pantalla muestra una advertencia por la pantalla LCD indicando el tipo de error detectado. Existen diversos errores que el equipo puede detectar. A continuación, en la Tabla 2 se presentan los mismos y cómo solucionarlos.

N° de error	Pantalla	Resolución
1	Ausencia de señal	No se encuentra correctamente conectada la placa de entrada a la FPGA, o bien esta no presenta señal a su entrada, se puede chequear que no haya falsos contactos con las líneas provenientes del transformador o bien que este se encuentre con energía.
2	Error de fase	Esto indica un desfase incorrecto entre las señales suministradas por la placa de entrada, es muy probable que se deba a haber escogido la frecuencia de trabajo incorrecta (por defecto es 50Hz), o que se hayan mezclado las líneas de los transformadores
3	Error de secuencia	Este error indica que las señales de sincronismo (Placa de entrada) están conectadas incorrectamente, así por ejemplo se pudo conectar la fase s, en la línea reservada para la fase t, se procede entonces a chequear esta conexión.

Tabla 2: Errores advertidos por el detector de fase y secuencia y su solución

1. Advertencia de medición con osciloscopio

Al conectar el osciloscopio a la carga del puente para medir la señal en la misma, hay que tener cuidado de **no tener la masa del osciloscopio conectada a la masa digital**. La punta de masa de la punta de prueba debe estar conectada a un borne de la carga, que es de carácter analógico. No deben estar al mismo tiempo conectadas las masas analógica y digital, para evitar daños en los instrumentos y en el equipo del controlador rectificador.

9) Problemas conocidos

En la Tabla 3 se mostrarán algunos problemas que pueden presentarse en el presente equipo y sus posibles soluciones.

Problema	Resolución
» Al programar la FPGA, el botón "Start" de la ventana "Programmer" no está habilitado, aún estableciendo "USB Blaster" en Hardware Setup	- Seleccionar la opción "Add file" - Seleccionar el archivo con extensión "*.sof" y presionar "Aceptar" - Seleccionar la opción "Start"
» Al programar la FPGA, hay errores de compilación	Verificar que el proyecto abierto en el software Quartus sea el correcto, con los archivos provistos por el proyecto
» Al programar la FPGA, hay un error "0% Failed" en la ventana "Programmer"	Verificar la correcta conexión del cable USB Blaster entre la computadora y la FPGA. Volver a intentar
» Mensaje de "Error del Detector de fase y secuencia"	<i>Véase el capítulo 10 "Advertencias"</i>
» Mensaje incoherente en pantalla	Programar de vuelta la FPGA mediante el software "Quartus 13", y revisar que todas las conexiones sean correctas (<i>véase capítulo 4 "Interconexión de todas las placas"</i>)
» Pantalla LCD con poco contraste	Programar de vuelta la FPGA mediante el software "Quartus 13"
» Pantalla LCD no enciende	Verificar la correcta conexión del LCD en la placa de interconexión y ésta con la FPGA
» El equipo no lee correctamente los comandos ingresados por teclado	Verificar la correcta conexión del teclado en la placa de interconexión y ésta con la FPGA
» El equipo se queda con la pantalla congelada	Desenergizar los transformadores y desenergizar la placa FPGA. Volver a programarla e intentar de nuevo poner el conjunto en funcionamiento
» No se detecta ninguna señal en los terminales de salida correspondientes a las señales de disparo	Revisar la correcta conexión de la placa de la etapa de salida. Verificar que no esté seleccionada la opción "Desactivar" del menú "Forma de pulso". Verificar el tipo de puente configurado
» Las placas alimentadas por los transformadores en configuración estrella – estrella tienen los leds rojos apagados	Revisar la correcta conexión de la placa de fuentes, y la posición de la llave termomagnética del tablero donde se conecta dicha placa
» No hay tensión presente en la carga del puente de tiristores	Revisar la correcta conexión del puente de tiristores. Verificar que estén presentes las señales de disparo en la entrada de la etapa de salida
» La carga del puente está sobrecalentada	Si se trabajan con ángulos de disparo pequeños esto es normal. Se recomienda apagar el equipo y dejar enfriar un rato la carga

Tabla 3: Problemas a presentarse con sus posibles soluciones