

Metodología para el Diseño de Interfaces de Usuario para Sistemas con FPGA

Juárez Buenrostro Ángel*, Vázquez Guerrero Mónica, Aceves Fernández Marco Antonio,
Ramos Arreguín Carlos Alberto y Ramos Arreguín Juan Manuel**

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Informática
*buenrostro_2006@hotmail.com, **jramos@mecamex.net

Resumen

Este trabajo presenta una propuesta de método para el desarrollo de interfaces para sistemas de desarrollo con FPGA's. Se parte de las necesidades que se tienen al trabajar con los sistemas de desarrollo y sus limitaciones para interactuar con hardware externo. Se realiza un análisis de las características eléctricas de las tecnologías CMOS y TTL, para establecer valores de resistencias de protección y las suficientes para evitar daños al sistema de desarrollo. Finalmente, se presentan dos casos de desarrollo de hardware, mediante el cual se pudo comprobar el buen funcionamiento del hardware diseñado. Con este trabajo, un estudiante puede desarrollar el hardware que requiera, de una manera más sencilla y confiable, logrando obtener un mayor provecho a los sistemas de desarrollo con FPGA e incluso para desarrollar su propio sistema de desarrollo basado en FPGA.

Palabras clave: FPGA, sistema de desarrollo, interfaz, sistema de desarrollo.

1. Introducción

Los sistemas digitales tienen una gran importancia en el desarrollo tecnológico de hoy día, donde los dispositivos reprogramables han cobrado una importancia mayor, al permitir desarrollar e implementar sistemas digitales en un muy poco tiempo. Este tipo de sistemas digitales son, entre otros, microprocesadores, microcontroladores, DSP, sistemas embebidos, sistemas móviles, etc.

Una de las herramientas importantes en el desarrollo de sistemas digitales, son las tarjetas (kits) de desarrollo. Sin embargo, generalmente estos dispositivos no cuentan con interfaces de potencia para el control de motores, y en ocasiones

no tenemos la cantidad suficiente de interruptores o de leds, por lo que en ocasiones es necesario que el usuario diseñe interfaces para diseñar un sistema digital específico.

Cada una de las tarjetas de desarrollo con FPGA o CPLD, tienen características diferentes, dependiendo del fabricante de cada tarjeta. Por lo anterior, podemos encontrar tarjetas que tienen interfaces de usuario como exhibidores de 7 segmentos (Displays), interruptores deslizables, botones de presión (push-boton), en algunos casos incluye el manejo de pantallas de cristal líquido (LCD). Algunas tarjetas manejan puertos con conectores no comunes, que difícilmente se consiguen en México. Cuando la tarjeta de desarrollo que se está utilizando para un diseño digital, no cuenta con alguna interfaz de usuario, es necesario comprar una que tenga la interfaz requerida, o bien, diseñar la interfaz para utilizarla con la tarjeta de desarrollo. Se entiende por interfaz de propósito especial aquel circuito que realiza una tarea específica de acuerdo con un estándar o protocolo de comunicación previamente establecido [1].

Los dispositivos reprogramables son fabricados utilizando tecnología CMOS, por lo tanto, los puertos de entrada/salida (E/S o I/O) manejan corrientes muy bajas (mA) y voltajes de 3.3V y/o 5V.

La tabla 1 muestra un resumen de algunas tarjetas de desarrollo con FPGA, así como las principales características de cada una [2][3][4][5].

Este trabajo se enfoca en presentar una manera de diseñar una interfaz para un sistema basado en FPGA, considerando la corriente del puerto, el voltaje que maneja el dispositivo, y el hardware que se vaya a manejar. Como casos de ejemplo, se presenta la interfaz para un puente H, el cual es utilizado para controlar un motor de

corriente continua, y una interfaz para utilizar un teclado matricial de 4x4.

Las interfaces mencionadas son parte del desarrollo de interfaces que se está desarrollando, enfocado a implementar soluciones para problemas de control de sistemas mecatrónicos, así como para aplicaciones de sistemas embebidos.

Tabla 1. Comparativo de tarjetas de desarrollo con FPGA.

Característica	Nexys2 Spartan 3E	A3PE 1500-PQ208 Actel	Arria II GX Altera	Spartacus XC3S200-4VQ100
Computertas	500K	1,500 K	124,100 ¹ 49,640 ²	200 K
RAM ³	16 MB	270 Kb	2 MB	32 KB
Reloj	50 MHz	231 MHz	50 a 155.52 MHz	25MHz
LED'S	8	8	4	---
Flash ³	16 MB	1024 bit	64 MB	2 Mb
Exhibidores ⁴	4	---	---	---
LCD	---	1	1	---
Botones ⁵	4	---	2	2
Interrup-tores	8	4	4	---
Progra-mación	USB2	JTAG	USB2	921 Kbps USB
Voltaje	3.3	1.5 – 3.3	14 – 20	2.5 – 3.3

¹ Elementos lógicos (LEs)

² Módulos lógicos adaptivos (ALMs)

³ B equivale a Byte y b equivale a bit

⁴ De 7 segmentos

⁵ Botones de usuario de presión (Push-Button)

Como se puede observar en la tabla 1, cada tarjeta de desarrollo tiene diferentes características así como interfaces de usuario visuales con led, exhibidores o pantallas LCD. Sin embargo, no todas tienen exhibidores o led's o pantalla LCD, y ninguna cuenta con interfaces de potencia ni convertidor analógico/digital ni convertidor digital/análogo, en el caso de las mostradas en pantalla. Debido al costo que tienen las tarjetas, es complicado pensar en estar comprando tarjetas cada que tenga necesidades diferentes. Ante esto, surge la necesidad de desarrollar las interfaces para la tarjeta específica que se está utilizando por el diseñador.

A continuación, se muestran las características eléctricas que se deben tomar en cuenta para diseñar las interfaces necesarias.

2. Consideraciones Técnicas

Las principales consideraciones a tener en cuenta son los intervalos de voltaje de salida y de entrada en cada terminal de los puertos de E/S, así como las corrientes máximas y mínimas permitidas para cada nivel lógico. En interfaces donde se utilicen frecuencias por encima de los 10 MHz, se tiene que diseñar la placa de circuito impreso tomando en cuenta diversas reglas de alta frecuencia para obtener los resultados deseados. Este trabajo se limita a interfaces de baja velocidad.

Para obtener la información necesaria de los puertos de E/S se requieren las hojas de datos de los Dispositivos Lógicos. La tabla 2 muestra intervalos de voltaje y de corriente para algunas familias de dispositivos FPGA y CPLD, tomados de las hojas de datos de los fabricantes [2][6][7].

Tabla 2. Características eléctricas importantes de los dispositivos reprogramables.

Familia	Características eléctricas de los puertos E/S					
	Voltaje (V)					I (mA)
	V _{CC}	V _{OL} (máx)	V _{OH} (min)	V _{IL} (máx)	V _{IH} (min)	
ACT 1	5.0 3.3	0.5 0.4	3.84 2.40	0.8 0.8	5.3 3.6	10 6
SPARTAN 3E	3.3	0.4	2.40	0.8	2.0	16
ULTRA 37000	5.0 3.3	0.5 0.5	2.4 2.4	0.8 0.8	2.0 2.0	2 2

La mayoría de dispositivos trabajan con niveles de voltaje entre 5V y 3.3V; sin embargo, el trabajo muestra ecuaciones para el diseño utilizando el voltaje de una manera general.

2.1 Los diodos emisores de luz (LED)

Los led emiten luz cuando son polarizados de manera directa, y existen los led de intensidad estándar y los de alta intensidad.

La tabla 3 muestra las caídas de tensión y el consumo de corriente para los led de intensidad estándar, dependiendo del color del mismo, así como para los led de alta intensidad.

Tabla 3. Características eléctricas de los led.

Color	Caída de tensión (VLED)V	Intensidad Máxima (ILED)mA	Intensidad Media (ILED)mA
Rojo	1.6	20	5-10
Verde	2.4	20	5-10
Amarillo	2.4	20	5-10
Naranja	1.7	20	5-10

La ecuación para calcular la resistencia a utilizar, dependiendo del tipo de led y del voltaje V que alimenta el arreglo de la figura 1, se presenta en la ecuación (1).

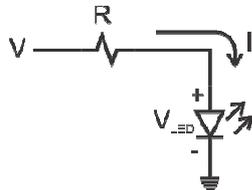


Fig. 1. Arreglo Resistencia-LED.

$$R = \frac{(V - V_{LED})}{I} \quad (1)$$

Dónde:

- R = Resistencia
- V = Tensión de Alimentación
- V_{LED} = Tensión típica del LED
- I = Corriente que pasa por el LED

Es importante no exceder la corriente especificada en la tabla 3, pues el tiempo de vida del diodo se ve reducida drásticamente, y se puede quemar en cualquier momento.

2.2 Optoacopladores.

En este caso, se pone de ejemplo el componente TLP621-4, que contiene 4 pares de emisor infrarrojo con su receptor, en el mismo encapsulado. La figura 2 muestra este componente, el cual tiene de entrada de voltaje al led las terminales 1, 3, 5 y 7; así como sus respectivas terminales a Tierra: 2, 4, 6, 8.

En las terminales 10, 12, 14 y 16 encontramos las entradas de voltaje del fototransistor con sus respectivas salidas las cuales son las terminales 9, 11, 13, 15.

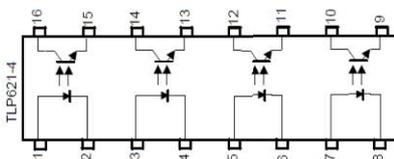


Fig. 2. Componente TLP621-4

La tabla 4 muestra las características eléctricas del dispositivo para un buen funcionamiento. Es importante tomar en cuenta estas condiciones para evitar daños en el componente.

Tabla 4. Características eléctricas TLP621-4

Componente	Característica	Valor	Unidad
LED	IF	50	mA
Detector	VCEV	55	V
	VECO	7	V

Este es en el caso en que se desee agregar leds a la tarjeta de desarrollo. A continuación hablaremos de algunos componentes específicos que también son muy útiles en el diseño de las interfaces.

2.3 El circuito integrado 74LVT245

Este es un elemento diseñado para interconectar circuitos CMOS que funcionan con 3.3Vcd, con circuitos TTL a 5 Vcd. Este dispositivo aumenta la corriente de una señal CMOS a 3.3V, para que el nivel lógico sea interpretado de manera correcta por un dispositivo TTL. De la misma manera, el 74LVT245, ajusta el nivel de voltaje de un circuito a 5V a los 3.3V necesarios para no dañar el FPGA. La tabla 5 muestra las características eléctricas de este componente.

Tabla 5. Características eléctricas 74LVT245

Característica	Símbolo	Min	Max
Fuente de alimentación	V_{cc}	2.7 V	3.6 V
Voltaje de entrada.	V_I	0 V	5.5 V
Corriente de salida en nivel lógico ALTO (HIGH).	I_{OH}		-32 mA
Corriente de salida en nivel lógico BAJO (LOW).	I_{OL}		64 mA

Este incremento en la corriente, permite al dispositivo TTL reconocer un nivel lógico ALTO o BAJO, según sea el caso.

2.4 Circuitos 74HCxx

Es llamada High Speed CMOS family (familia CMOS de alta velocidad), de ahí que al componente se coloque la leyenda HC. Pueden operar a partir de 2 a 6V, lo que permite tener una interfaz entre dispositivos a 3.3V, con dispositivos que funcionan a 5V. La tabla 6 muestra un cuadro comparativo de características de dispositivos CMOS y TTL. Es importante poner atención en las corrientes de salida especialmente, para poder accionar actuadores externos al circuito integrado.

Se tiene que trabajar con estos circuitos de alta velocidad, debido a que los kits de tarjetas trabajan

con una frecuencia rápida, para cuyo caso existen estos componentes, los cuales pueden interactuar con la velocidad de la misma.

2.5 Circuitos CMOS

El término CMOS significa: Complementary Metal-Oxide Semiconductor. Estos circuitos son una familia utilizado para sistemas digitales especializados, y permiten trabajar en niveles de voltaje de 3.3V o menos. La tecnología CMOS es la más utilizada actualmente, y está basada en la tecnología MOS (Metal-Oxide Semiconductor). Es la familia más rápida y de menor consumo, pues tiene mejora en cuanto a la disminución de tamaño, pues se fabrican con transistores MOS, obteniendo mejor y mayor velocidad de respuesta, menos consumo de energía y mayor densidad de integración. Todo esto ha permitido la implementación de circuitos complejos, superando a los componentes de la familia TTL.

Tabla 6. Características de componentes CMOS y TTL.

Característica	Símbolo	TTL		CMOS	
		LS	ALS	MC o CD	HC
Intervalo voltaje de operación. (V)	V_{CC}, V_{EE}, V_{DD}	$5 \pm 5\%$	$5 \pm 5\%$	3.0 a 18	2.0 a 6.0
Voltaje de entrada (V)	V_{IH} min	2.0	2.0	3.5	3.5
	V_{IL} max	0.8	0.8	1.5	1.0
Voltaje de salida (V)	V_{OH} min	2.7	2.7	$V_{DD} - 0.05$	$V_{CC} - 0.1$
	V_{OL} max	0.5	0.5	0.05	0.1
Corriente de entrada μA	I_{INH}	20	20	± 0.3	± 1.0
	I_{INL}	-400	-200		
Corriente de salida (mA)	I_{OH}	-0.4	-0.4	-2.1 a 2.5V	-4.0 a $V_{CC} - 0.8V$
	I_{OL}	8.0	8.0	0.44 a 0.4 V	4.0 a 0.4 V
Retardo (ns)	Td	9.0	7.0	125	8.0

La familia CMOS mantiene una misma estructura de transistores en la implementación de funciones lógicas (and, or, nor, nand, etc.). Las características eléctricas se pueden apreciar en la tabla 6.

3. Desarrollo de las Interfaces.

En este capítulo se presenta algunos diseños como ejemplo de desarrollo con sus cálculos correspondientes. Las interfaces diseñadas se enfocan a la tarjeta Nexys 2, que se muestra en la figura 3. Las principales características de la tarjeta se mencionan en las tablas 1 y 2.

Además de las características mencionadas en la tabla 1 y 2, la tarjeta tiene las siguientes características:

- Una base para que el usuario conecte un oscilador a una frecuencia diferente de 50 MHz, que es la frecuencia base del funcionamiento del componente Spartan 3E.
- Un puerto de salida de video VGA.
- Un puerto de comunicación serial RS232.
- 4 puertos de E/S digital de 12 bit con línea de 3.3V y tierra.
- Un puerto PS-2.
- Un puerto de expansión de 43 bit.

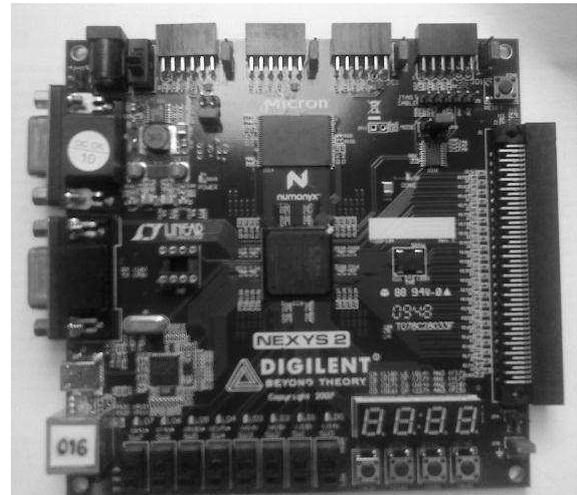


Fig. 3. Tarjeta Nexys2

A continuación, se presenta el diseño de dos interfaces, que consisten en un teclado matricial y un controlador de motores por medio de un puente H (L298n). Las interfaces permiten interactuar con la tarjeta NEXYS 2 de manera directa, con la debida protección para evitar dañar la tarjeta.

Las interfaces fueron diseñadas bajo la metodología mostrada en la figura 4.

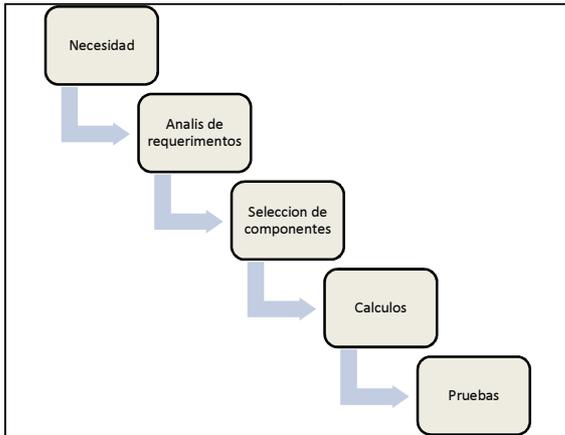


Fig. 4. Metodología para el diseño de las interfaces.

Esta metodología es importante, pues permite diseñar el circuito de la manera más conveniente para tener el mejor funcionamiento.

3.1 Interfaz para puente H

Nuestro objetivo fue hacer que desde la tarjeta se mandara una señal hacia la interfaz que tuviera la capacidad de controlar un motor cualquiera por medio de la señal de salida que es

3.3V, proveniente de la tarjeta. Para esto, utilizamos el siguiente material:

1. TLP621-4
2. Puente H L298n
3. Resistencias de 10 y 1 kΩ
4. Diodos 1N4001

Se diseñó el circuito esquemático, mostrado en la figura 5, incluyendo en el diseño el puerto de la tarjeta NEXYS 2 donde va a ser conectada la interfaz. En este caso, debido a que la aplicación es de baja frecuencia, se prueba el diseño en plantilla de prácticas (protoboard).

Una vez comprobado que el circuito funciona de forma independiente sin necesidad de la tarjeta, pero habiéndolo probado con las condiciones de voltaje y corriente de la misma, se diseñó el circuito impreso (PCB). En este punto, se debe cuidar que el diseño sea lo más compacto y organizado posible con las entradas y salidas en los extremos de la placa para poder tener acceso a la interfaz de manera cómoda y sencilla. El diseño del PCB se muestra en la figura 6.

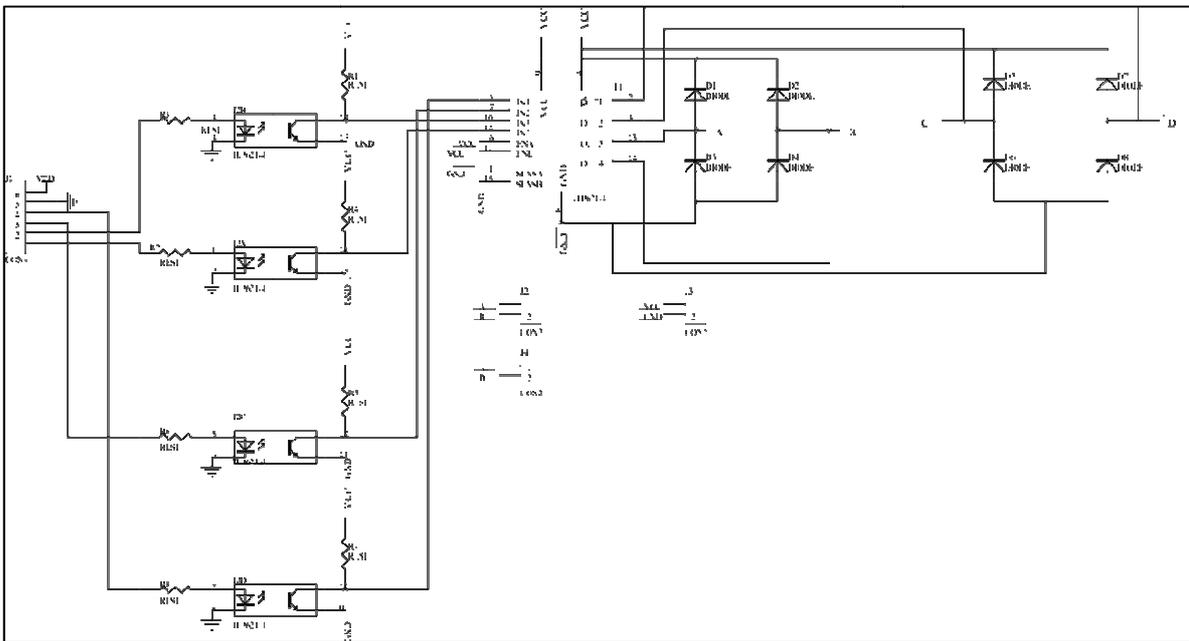


Fig. 5. Diseño esquemático de Interfaz para Puente H.

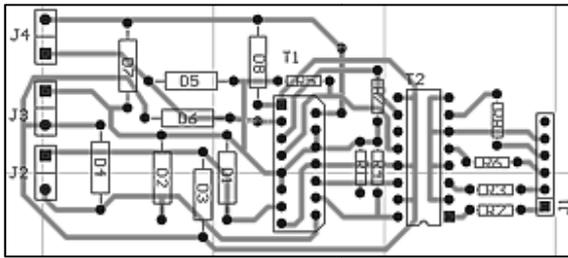


Fig. 6. Diseño del circuito impreso.

Después de tener esto listo, tenemos lo necesario para poder realizar el circuito de manera física en placa de cobre para poder así ser utilizada con la tarjeta NEXYS2. La figura 7 muestra la tarjeta del circuito impreso para la tarjeta NEXYS 2.

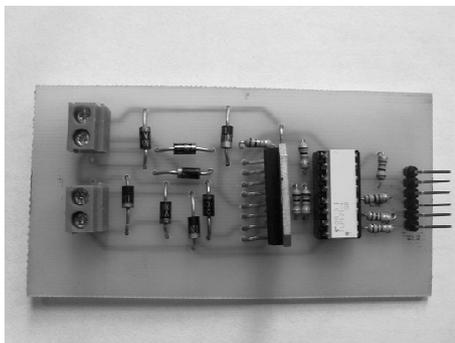


Fig. 7. Circuito terminado en placa.

3.2 Interfaz con teclado matricial.

La tarjeta NEXYS 2 cuenta con una interfaz para utilizar un teclado normal de computadora con conector PS2 para usuario. Sin embargo, actualmente la mayoría de teclados ya son para conexión con interfaz USB, y está quedando obsoleto la interfaz PS2. Además, en ciertas aplicaciones solamente requerimos utilizar pocas teclas. Debido a lo anterior, el objetivo de esta interfaz es tener una interacción más directa con el usuario, utilizando un un teclado matricial de 16 caracteres, el cual se muestra en la figura 8.



Fig. 8. Teclado matricial hexadecimal.

La figura 9 muestra el diagrama esquemático del circuito diseñado. El componente utilizado es un CMOS de baja velocidad, debido a que la interacción con el teclado es a frecuencias bajas, lo que permite el funcionamiento del componente sin mayores problemas. Se utilizan resistencias de protección para casos en los que el usuario presione más de una tecla a la vez, y se pueda dañar el circuito. También se está utilizando resistencias en conexión de forzar a nivel alto (pull-up), de tal manera que, mientras no se presione alguna tecla, la entrada al circuito se garantiza en nivel alto.

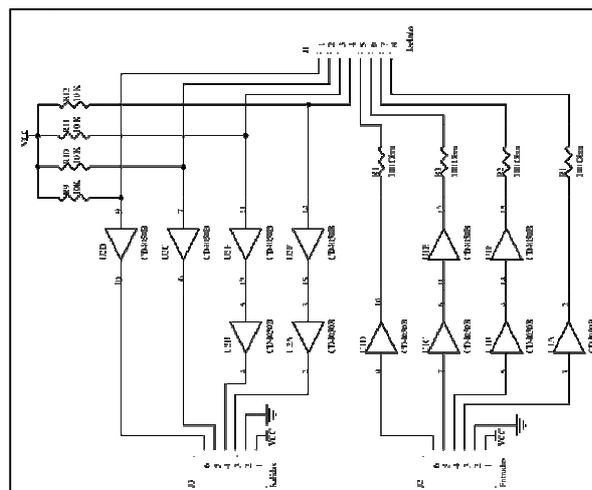


Fig. 9. Diagrama esquemático del teclado matricial hexadecimal.

La figura 10 muestra el diseño del circuito impreso. En este caso, se utilizan componentes comunes, pero tratando de obtener un circuito compacto.

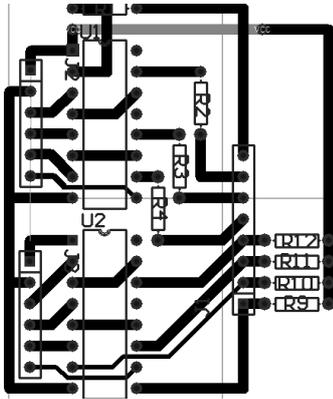


Fig. 10. Circuito impreso del teclado matricial hexadecimal.

La figura 11 muestra el circuito terminado en placa el cual se va a utilizar con el teclado matricial, funcionando así como interfaz con la Tarjeta Nexys 2.

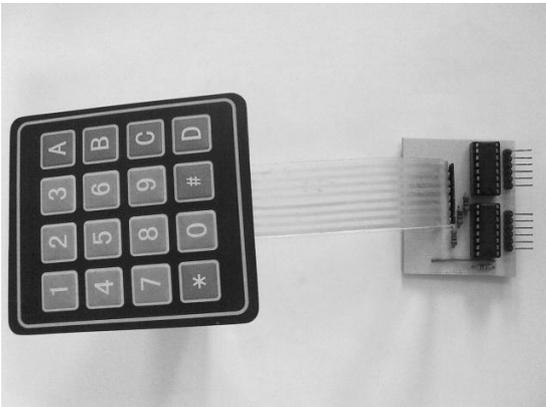


Fig. 11. Circuito impreso de la interfaz del teclado.

Una vez realizado el diseño en PCB fue posible la construcción de la placa, que como puede observarse en la Figura 11, están los componentes debidamente colocados, teniendo especial cuidado en los componentes CMOS en que cada uno tuviera su base, para evitar que el calor a la hora de soldar pudiera afectarle. Una vez terminada fue posible utilizarla para el fin para la que fue hecha, conectarla a la tarjeta NEXYS2 como se muestra en la figura 13.

4. Pruebas y Resultados.

Se probaron los sistemas, obteniendo como resultado el correcto funcionamiento de las interfaces. La figura 12 muestra la tarjeta NEXYS 2 con la interfaz del puente H, mientras que la figura 13 muestra la tarjeta con la interfaz del teclado.

Los niveles de corriente fueron menores a los especificados en la tabla 6, de tal manera que el sistema pudo funcionar adecuadamente.

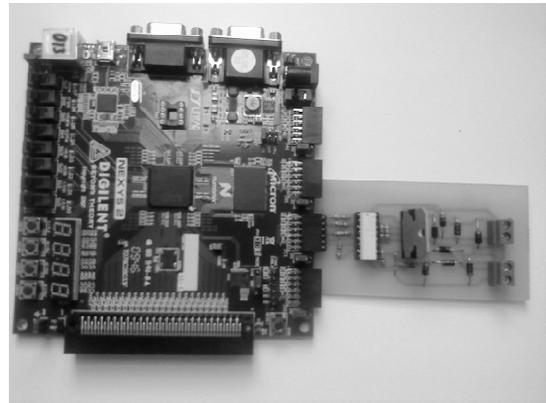


Fig. 12. Interfaz del puente H y la Tarjeta Nexys2

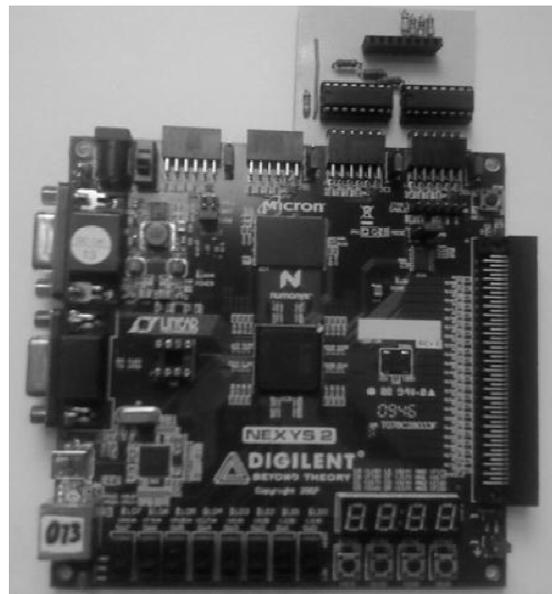


Fig. 13. Interfaz del teclado Matricial y la Tarjeta Nexys2

5. Conclusiones.

Esta metodología permite a un alumno implementar una interfaz para cualquier tarjeta con dispositivos reprogramables, de una manera segura, considerando todas las características eléctricas.

Con las consideraciones tomadas, se logró que el consumo de corriente fuera el adecuado, sin exceder la corriente que puede proporcionar cada una de las terminales de salida.

También se pudo comprobar que es factible utilizar componentes opto-electrónicos para controlar el encendido y apagado de componentes de potencia, como motores.

Aún se va a trabajar en el desarrollo de más herramientas para las tarjetas, y se están desarrollando sistemas de alta frecuencia y baja frecuencia.

Referencias

- [1] Romero R. “*Electrónica Digital y lógica programable*”, Universidad De Guanajuato, México, primera edición año 2007.
- [2] XILINX, “*SPARTAN-3E FPGA Family: Data Sheet*”, DS312 (v3.8), 2009.
- [3] ACTEL, “*ProASIC3E Flash Family FPGAs*”, Actel Corporation, 2010.
- [4] ALTERA, “*Arria II GX FPGA Development Board, Reference Manual*”, Altera Corporation, 2011.
- [5] FPGA Circuit, “*Spartacus Fpga Board, System Manual*”, Second Edition, 2005, V1.2
- [6] ACTEL, “*ACT™ 1 Series FPGA*”, ACTEL Corporation, 1996.
- [7] Cypress Perform, “*Ultra 37000 CPLD Family (5V and 3.3V ISR™ High Performance CPLDs)*”, San Jose California, CA 95134-1709, 2010.