

HelioSmart

Giselle Alejandra Mojica Rodríguez - James Mauricio Daza Obando - Cristian David Valenzuela Cruz
 gmojicar@unal.edu.co - jdazao@unal.edu.co - cvalenzuelac@unal.edu.co

Electrónica Digital I - Grupo 5 - Equipo 1
 Departamento de Ingeniería eléctrica y electrónica
 Universidad Nacional de Colombia.
 Bogotá. Colombia.

Resumen—En el siguiente documento se muestra la justificación, así como también el desarrollo del proyecto HelioSmart, el cual es un sistema digital programado en lenguaje Verilog e implementado en la FPGA Cyclone 4 (intel), cuya función es controlar la intensidad lumínica emitida por un led, manualmente a través de un teclado o automáticamente en razón de la cantidad de luminosidad percibida en la habitación, además la intensidad lumínica siempre será cero, si no es detectada ninguna presencia cercana al sistema.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema de iluminación constituye una parte importante del consumo energético debido a las actividades desempeñadas en un entorno, sin embargo, usualmente el funcionamiento de estos sistemas está encaminado principalmente a brindar condiciones óptimas de iluminación, dejando de lado la importancia de procurar un consumo energético inteligente y responsable que garantice las condiciones de iluminación requeridas y constituya al mismo tiempo una solución inmediata para reducir el desperdicio de energía eléctrica consumida, sin desconocer la necesidad de brindar a los usuarios un sistema capaz de adaptarse a sus requerimientos. De esta manera, el desarrollo del proyecto aquí presentado orienta los conocimientos en electrónica digital hacia la implementación de un sistema que genere un impacto positivo tanto en el consumo energético como en el bienestar de los usuarios.

II. PROBLEMÁTICA

El sistema de iluminación de un espacio es una condición vital para el desarrollo de todas las labores de las personas que se desempeñan dentro de un entorno con propiedades dinámicas. Es preciso garantizar niveles de iluminación adecuados que aseguren la visibilidad de quienes se encuentran realizando sus labores, sin embargo, también debe ser tenido en cuenta el impacto de no regular dicha iluminación ocasionando un uso prolongado e innecesario de las luces encendidas, por lo tanto, se hace necesaria la implementación de un sistema que permita regular de forma autónoma la cantidad de luz suministrada por los focos de acuerdo con las condiciones de iluminación del entorno y simultáneamente ofrezca un funcionamiento versátil para el usuario, de manera que pueda elegir entre un modo automático que no le obligue a modificar constantemente el encendido o apagado de bombillas y contribuya a la disminución del gasto energético, pero al mismo tiempo le sea posible en caso de que lo requiera, elegir un modo manual en el que

seleccione el nivel de iluminación que más se ajuste a sus necesidades en dicho instante.

III. SOLUCIÓN DESARROLLADA

Se diseñó un dispositivo que permite el control de la intensidad lumínica de una luz LED, lo cual puede lograrse en un modo manual, el cual modula la intensidad a razón de los datos ingresados por teclado, o el modo automático el cual regula la intensidad lumínica a razón de la luminosidad percibida, adicionalmente es importante mencionar que siempre que el sensor de presencia no detecte ninguna presencia, la luminosidad otorgada por el LED será cero, logrando de esta manera hacer un uso más eficiente de la energía.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un sistema que permita controlar la intensidad lumínica suministrada por las bombillas de acuerdo con las condiciones variables de iluminación en el entorno de aplicación.

B. Objetivos específicos

- Implementar un sistema de iluminación que se ajuste según el nivel de luz demandado sin requerir la intervención directa del usuario.
- Controlar la intensidad con la que ilumina el foco de acuerdo con la cantidad de luz natural o con las preferencias del usuario.
- Identificar la cantidad de luz presente en el ambiente para determinar la respuesta del sistema.

V. MARCO TEORICO

Para la planeación e implementación de este proyecto se hizo uso de diferentes dispositivos y módulos, entre los cuales se encuentran los siguientes, así como una corta descripción de sus respectivas funcionalidades:

- *Sensor ultrasónico HC-SR04*



Fig. 1: Sensor ultrasónico HC-SR04

Este sensor permite medir la distancia a la cual se encuentra un objeto mediante una señal ultrasónica cuya frecuencia de trabajo es de 40kHz. Su principio de funcionamiento se basa en calcular el tiempo que tarda la señal en llegar hasta el objeto y regresar, considerando la velocidad del sonido en el aire y a partir de ello determinar la distancia.

Los pines que posee este elemento son VCC(5V), Trig, Echo y GND. En primer lugar el módulo dispara la onda mediante "Trig" o disparador, y esta onda al encontrarse con el objeto rebotará y será recibida por "Echo".

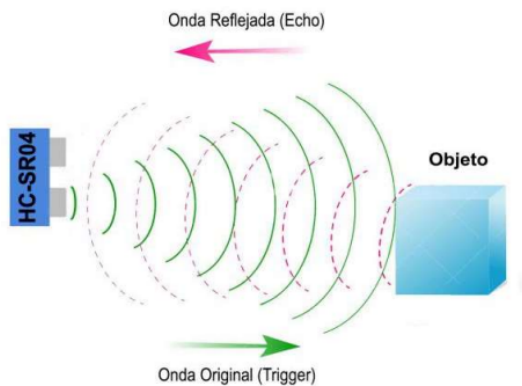


Fig. 2: Señal ultrasónica emitida por HC-SR04

Así, conociendo el tiempo que tarda la onda en regresar y la velocidad a la que lo hace, es posible determinar la distancia mediante la ecuación $d = v \cdot t$. No obstante, este resultado corresponderá a la distancia total recorrida por la onda al ir hasta el objeto y regresar, por lo tanto, para determinar la distancia a la cual se encuentra situado el objeto es necesario dividir este resultado entre 2.

De este modo, TRIG se encarga de enviar la señal y su estado permanece en ALTO durante $10\mu s$, momento en el que envía una señal de 8 ciclos a 40kHz como se observa en la figura 3. Una vez se ha enviado la onda el pin ECHO pasará al estado ALTO y permanecerá así hasta que reciba la onda de regreso.

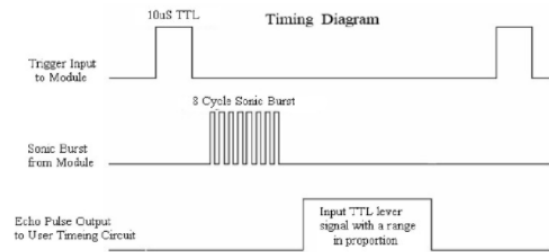


Fig. 3: Comportamiento de TRIG y ECHO

Un factor importante a considerar durante la medición es el ángulo en el que se encuentra posicionado el objeto con respecto al sensor, ya que esto puede incidir en especial en la señal de retorno, de manera que la medición será más eficiente cuanto más alineado se encuentre el objeto respecto del sensor. Una desviación de 15° a 30° es aceptable de acuerdo con la hoja de especificaciones de este elemento.

Este módulo nos permite conocer un dato importante para el desarrollo del proyecto, por lo que se desempeña como un periférico de entrada.

- *Led Potencia 3W*



Fig. 4: Módulo Led de Potencia 3W

Las especificaciones de este Led de potencia corresponden a una temperatura del color de 6000-7000K, flujo luminoso de 180-210lm, una corriente operativa de 700-750mA y una tensión de alimentación de 3.3-5V.

Emplearemos este elemento principalmente para visualizar diferentes intensidades de luz establecidas a partir de otros parámetros, como en este caso, la cantidad de luz en el ambiente medida por el sensor BH1750 o el nivel seleccionado por el usuario. Se implementó un PWM que permite modular el ancho de pulso de acuerdo con la frecuencia que en particular corresponde a los 50MHz del reloj de la FPGA utilizada, evidenciando que el led emite una luz apenas visible con una cantidad de alrededor de 250 flancos de subida.

Por su parte, este led de potencia actúa como un periférico de salida.

- *Teclado matricial*



Fig. 5: Teclado matricial 4x4

El teclado matricial es, como lo sugiere el nombre, un arreglo de pulsadores de forma matricial, con cierto número de filas y de columnas, tiene esta estructura porque resulta más eficiente en términos del número de conexiones que requiere.

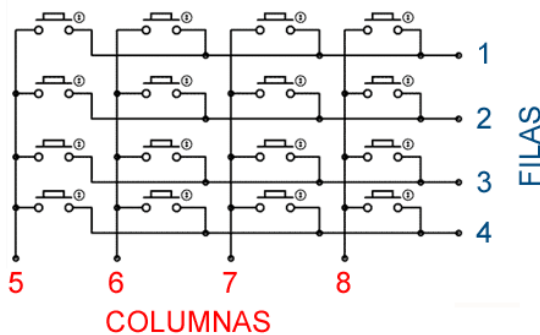


Fig. 6: Estructura de un teclado matricial

Se ha de definir si las filas o las columnas serán las que lleven un barrido, este barrido tiene el propósito de conducir la señal por donde haya un circuito cerrado, es decir, por donde se haya pulsado una tecla

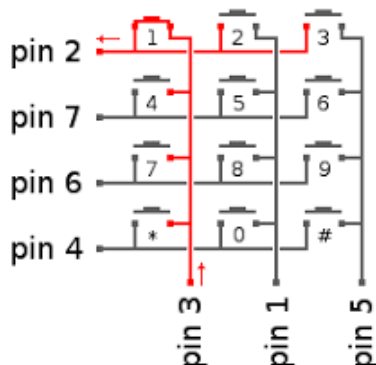


Fig. 7: Tecla pulsada

Para este caso, se definió que las filas serán por donde se realiza el barrido y las columnas por donde salga la posible señal indicando la coordenada de la tecla pulsada. En la figura 7 se pulsaría la tecla fila 1 columna 1(pin 3,2), que no necesariamente significa que sea el 1,

se puede programar para que represente otra cosa, o que ejecute un comando.

El teclado tiene unas capacitancias que pueden ser problemáticas, pues en el barrido podrían quedar voltajes almacenados indeseables, para solucionar esto se ha de colocar resistencias de alto valor cuyo objetivo es evitar que estos voltajes se almacenen en las capacitancias y con esto evitar errores.

- *Pantalla Lcd 16x2*

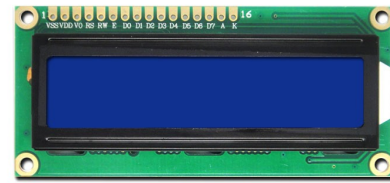


Fig. 8: Pantalla Lcd 16x2 [7]

El LCD es un dispositivo el cual tiene la función de visualizar contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del LCD usado. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento. Para este proyecto se empleará un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. (Willyfox, 2013)

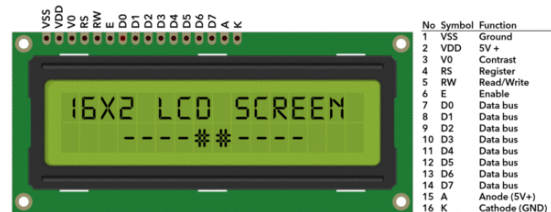


Fig. 9: Pantalla Lcd 16x2 pines [9]

Los pines del LCD se clasifican en 3 categorías: Control, alimentación y bus de datos.

- **Control:** Rs = Corresponde al pin de selección de registro de control de datos (0) o registro de datos(1) .
Rw= Corresponde al pin de Escritura(0) o de Lectura(1).
E= Corresponde al pin de habilitación.
- **Alimentación:** Vss = GND , Vdd = + 5v, Vee= pin de contraste.

- **Bus de datos:** Es bidireccional y comprende desde los pines D0 a D7.

- *Sensor de luz BH1750*

Para identificar la cantidad de luz en el ambiente se empleó el sensor de luz BH1750, que trabaja con una tensión de operación entre 3V y 5V y funciona con protocolo I²C. Consta de 5 pines como se muestra en la figura 27, de los cuales *VCC* y *GND* son requeridos para la alimentación, *SDA* (Serial Data Line) corresponde al pin por el cual se envían y reciben datos, *SCL* (Serial Clock Line) correspondiente a la señal de reloj y *ADDR* que se encarga de definir la dirección correspondiente al sensor y desde la cual se enviarán los datos correspondientes a la FPGA; de modo que la dirección puede tomar dos valores: “1011100” si el pin ADDR es conectado a VCC, ó “0100011” si es conectado a GND. Este sensor tiene un rango de medición de 1-65535 lux y entrega una salida digital de 16 bits.

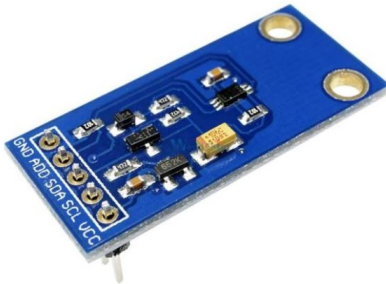


Fig. 10: Sensor de luz BH1750

El sensor puede realizar la medición en tres diferentes modos de medición continua: modo de baja resolución, modo de alta resolución, y modo de alta resolución 2. Usualmente se utiliza el modo de alta resolución dado que al tener resolución de 1lx permite obtener valores incluso en condiciones de oscuridad y al tener un tiempo de medición de 120ms (mayor que el tiempo de medición del modo de baja resolución que corresponde a 16ms) permite rechazar mejor el ruido.

VI. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

El proyecto HelioSmart está constituido por un módulo de control y 5 módulos principales los cuales a su vez están compuestos por sus respectivos módulos secundarios. Se mencionarán a continuación los módulos principales, comenzando por el funcionamiento de sus módulos secundarios y explicando cómo se relaciona con su módulo principal, y por último se explicará como el módulo de control interconecta todos los módulos principales.

A. MÓDULO TECLADO

1) *Módulo barrido:* Tiene como finalidad realizar un barrido en las filas del teclado y entrega como salida las filas que luego serán interpretadas junto con las columnas en el módulo convteclado.

Entradas:

- *clk1k:* Reloj de frecuencia 1KHz obtenido a partir de un divisor de frecuencia.

Salidas:

- *fil:* Corresponde a las filas del teclado.

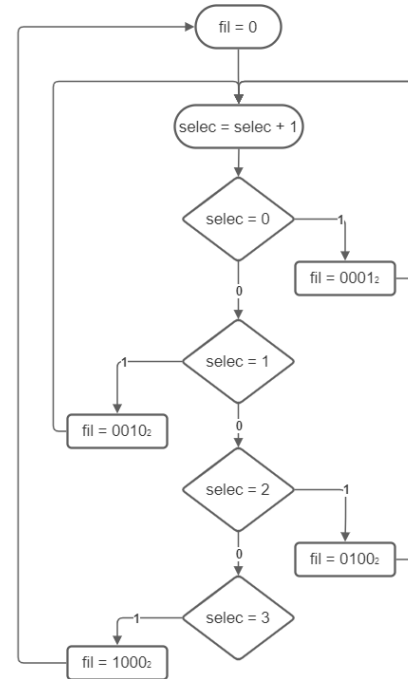


Fig. 11: Diagrama de flujo módulo barrido

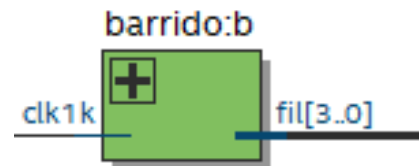


Fig. 12: RTL barrido

2) *Módulo convteclado:* Este módulo tiene como función comparar las filas y columnas de la tecla que se encuentra presionada, para así asignar a cada una de las 16 teclas un valor de acuerdo con el teclado mostrado en la figura 6.

Entradas:

- *fil:* Indica las 4 filas del teclado, ingresadas desde el módulo que realizó el barrido de filas descrito anteriormente.
- *col:* Indica las 4 columnas del teclado.

Salidas:

- num: Corresponde al número asignado a cada tecla una vez identificada la fila y columna correspondientes a dicho valor en el teclado.

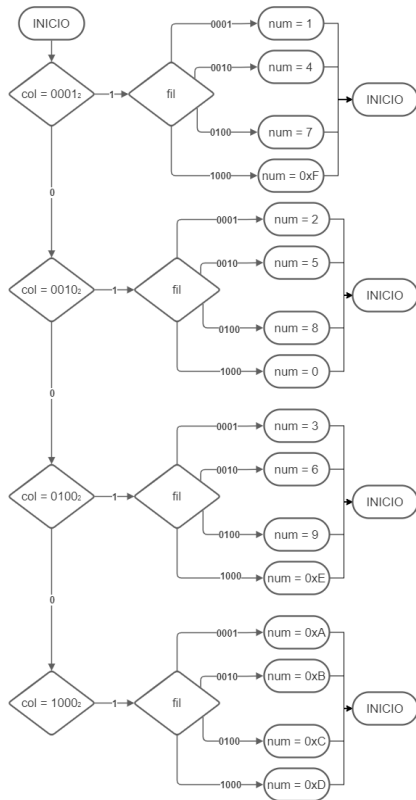


Fig. 13: Diagrama de flujo convteclado

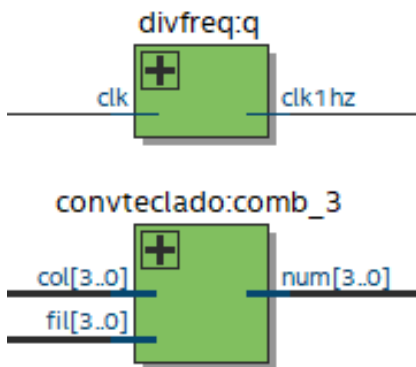


Fig. 14: RTL convteclado

B. MÓDULO LCD_Top

1) *Módulo Reset_Delay*: Se encarga de proporcionar la señal de reset o reinicio al módulo LCD_Top cada 21ms.

Entradas:

- iCLK: Reloj interno de la FPGA.

Salidas:

- oRESET: Señal la cual cuando entrega un valor alto, permite el reset del LCD.

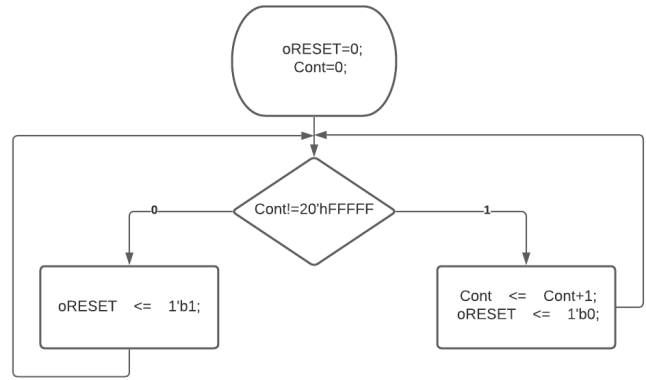


Fig. 15: Diagrama de flujo Reset_Delay

2) *Módulo LCD_TEST*: Es el encargado de recibir los caracteres deseados para cada celda en el LCD y de transmitir tanto el bus de datos, como sus respectivas señales de control, que se transferirán al LCD.

Entradas:

- iCLK: Reloj interno de la FPGA.
- iRST_N: Corresponde a la entrada de reset.
- Mostrar: Corresponden a valores ASCII determinados para cada una de las 32 celdas, en el LCD.

- Mostrar_10.
- Mostrar_11.
- Mostrar_12.
- Mostrar_13.
- Mostrar_14.
- Mostrar_15.
- Mostrar_16.
- Mostrar_17.
- Mostrar_18.
- Mostrar_19.
- Mostrar_110.
- Mostrar_111.
- Mostrar_112.
- Mostrar_113.
- Mostrar_114.
- Mostrar_115.
- Mostrar_20.
- Mostrar_21.
- Mostrar_22.
- Mostrar_23.
- Mostrar_24.
- Mostrar_25.
- Mostrar_26.
- Mostrar_27.
- Mostrar_28.
- Mostrar_29.
- Mostrar_210.
- Mostrar_211.
- Mostrar_212.
- Mostrar_213.
- Mostrar_214.

– Mostrar_215.

Salidas:

- LCD_DATA : Corresponde a la salida del bus de datos (de 8 bites) del LCD.
- LCD_RW : Corresponde a una señal de control de un 1 bit, proveniente del módulo LCD_Controller.
- LCD_EN: Corresponde a la señal de habilitación de un 1 bit, proveniente del módulo LCD_Controller.
- LCD_RS: Corresponde a una señal de control de un 1 bit proveniente del módulo LCD_Controller.

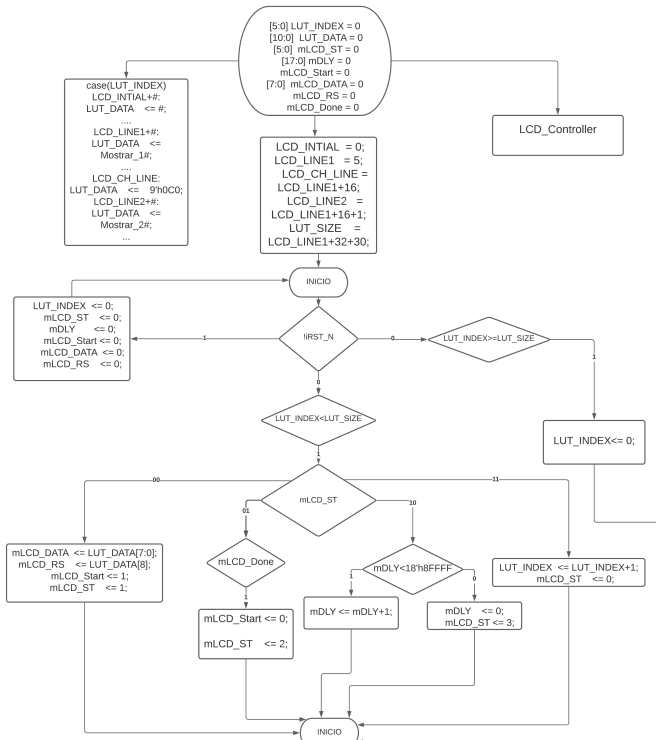


Fig. 16: Diagrama de flujo LCD_TEST

3) **Módulo LCD_Controller:** Se encarga de transmitir las señales de control y el bus de datos del LCD, al módulo LCD_TEST según las señales de entrada recibidas de este mismo módulo LCD_TEST.

Entradas:

- iDATA: Corresponde a un bus de datos (de 8 bites) proveniente de mLCD_DATA.
- iRS: Corresponde al bit más significativo de “Mostrar” y es asignado a la salida LCD_RS.
- iStart: Corresponde a la señal mLCD_Start transmitida del módulo LCD_TEST, y es la señal de inicio del módulo LCD_Controller.

- iCLK: Reloj interno de la FPGA.
- iRST_N: Corresponde a la entrada de reset.

Salidas: Debido a la relación que poseen los módulos LCD_TEST y LCD_Controller estos cuentan con exactamente las mismas salidas, las cuales ya fueron explicadas en módulo anterior.

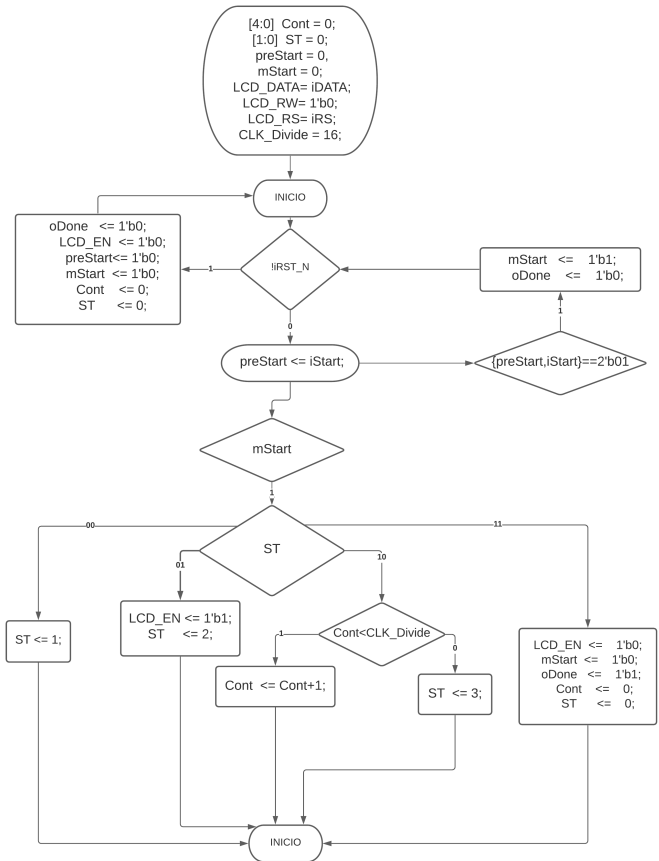


Fig. 17: Diagrama de flujo LCD_Controller

4) **MÓDULO LCD_Top:** Es el encargado de controlar el LCD, así como de los mensajes que se imprimen en la pantalla del mismo.

Entradas:

- iCLK: Reloj interno de la FPGA.
- mensaje: Es un numero de 4 bits el cual, define el mensaje que será mostrado por la pantalla del LCD.

Bidireccionales:

- LCD_DATA : Corresponde a la salida del bus de datos (de 8 bites) del LCD.

Salidas:

- LCD_RW : Corresponde a la señal de selección, de lectura (1) / escritura (0), proveniente del módulo LCD_TEST.

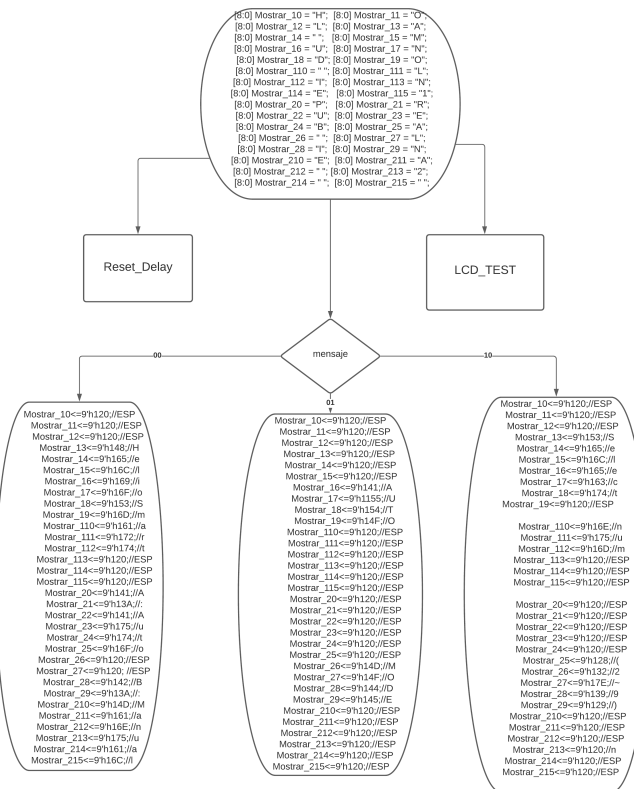


Fig. 18: Diagrama de flujo LCD_Top

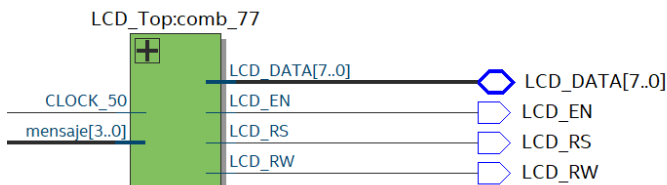


Fig. 19: RTL LCD_Top

C. MÓDULO BH1750

Recibe una señal del sensor de luz y mediante protocolo I²C la convierte en un dato de 16 bits:

Entradas:

- `sys_clk`: Corresponde al reloj del sistema (50 MHz de la FPGA).
- `_rst`: Señal de reinicio.
- `str`: Señal de inicio.

Bidireccionales:

- SDA: Línea de transmisión de datos.

- SCL: Línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.

Salidas:

- **Data:** Es el dato entregado por el sensor en luxes y consta de 16 bits.
- **Busy:** Indica si el bus I²C se encuentra ocupado o no, es decir, si la transmisión de datos se encuentra en proceso o finalizó.

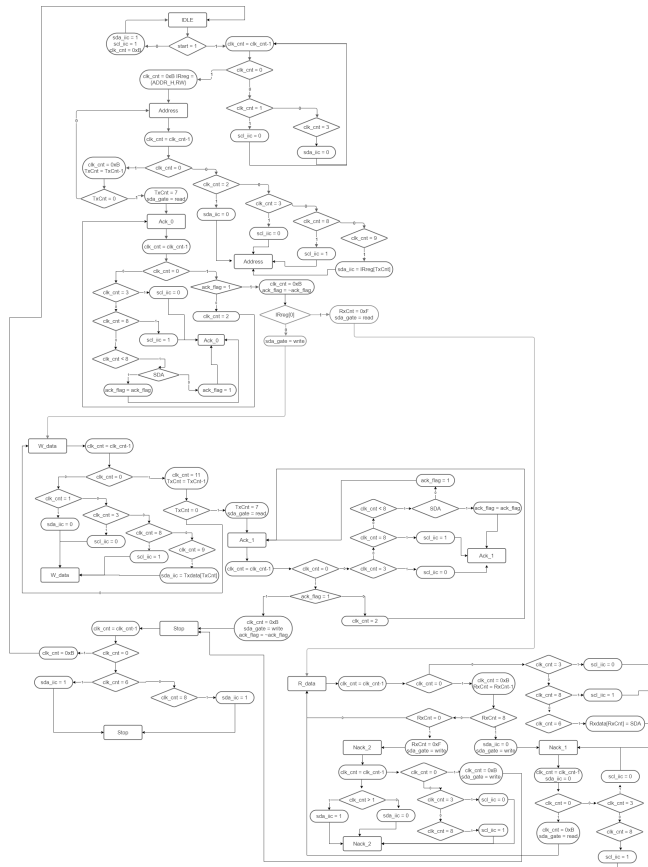


Fig. 20: Diagrama de flujo módulo BH1750

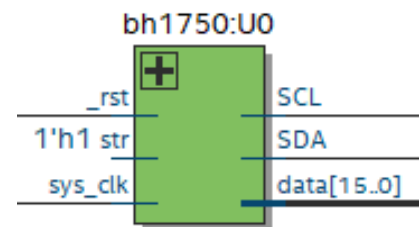


Fig. 21: RTL BH1750

D. MÓDULO CLASE

Se encarga de calcular la distancia a la cual se encuentra un objeto controlando el funcionamiento del sensor ultrasonido. Su finalidad dentro del proyecto es determinar la presencia de personas en el lugar. **Entradas:**

- clk: Reloj de 50MHz con el que trabaja la FPGA.

- echo: Señal de rebote recibida por el sensor una vez la señal enviada sigue el camino de regreso al sensor luego de haber detectado algún objeto.

Salidas:

- trigg: Señal ultrasónica enviada por el sensor a una frecuencia de 40KHz.
- dist: Distancia medida luego de calcular el tiempo que tardó la onda en ir y volver de regreso al sensor.

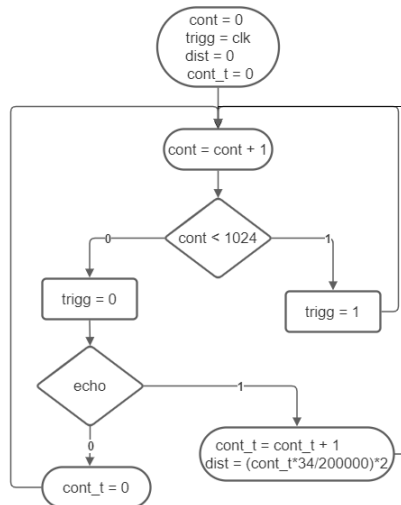


Fig. 22: Diagrama de flujo módulo clase

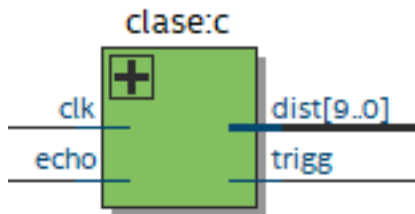


Fig. 23: RTL clase

E. MÓDULO LED

Determina la modulación por ancho de pulsos de la señal de salida del LED, de acuerdo con los datos recibidos de luminosidad y presencia.

Entradas:

- mode: Determina el modo en que el usuario desea que opere el sistema (0010 corresponde al modo manual y 0001 al modo automático).
- sys_clk: Corresponde al reloj de 50MHz de la FPGA.
- parametro: Es el dato de nivel de iluminación en luxes suministrado por el sensor BH1750 y es de 16 bits.
- parametromanual: Indica el nivel de iluminación que desea el usuario una vez elige el modo de funcionamiento manual. Es una entrada de 4 bits que tomará valores entre 2 y 9 de acuerdo con el requerimiento de la persona, siendo 2 el nivel en donde se suministra el menor brillo y 9 el mayor brillo.

- distancia: Corresponde al dato de distancia que permite determinar si se encuentra alguien presente en el lugar. Si éste valor es menor a 100cm se interpreta como presencia, en caso contrario se interpreta como ausencia de personas.

Salidas:

- pwm: Permite modular la frecuencia con la que ilumina el LED de potencia con el fin de modificar el brillo percibido por las personas de acuerdo con las condiciones dadas.

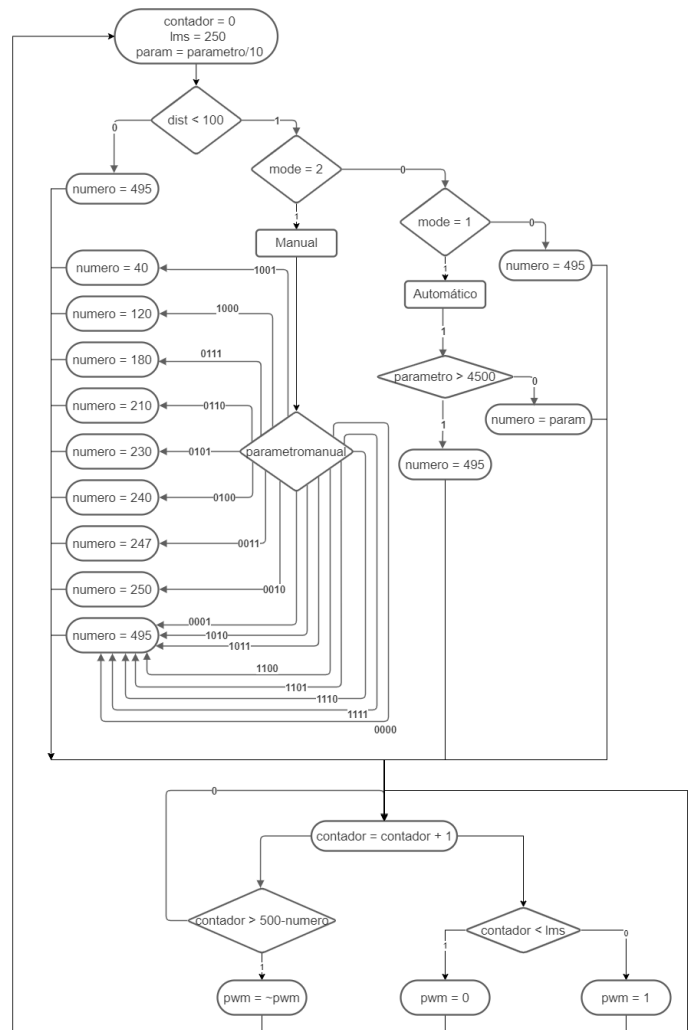


Fig. 24: Diagrama de flujo módulo LED

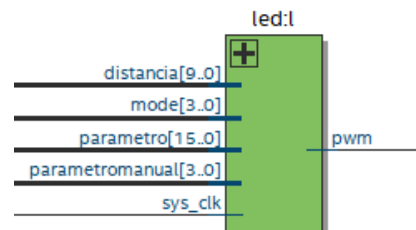


Fig. 25: RTL Led

F. MÓDULO COPIA

Integra, coordina y conecta todos los módulos principales mencionados anteriormente, para así obtener los resultados deseados. El diagrama de flujo y el RTL, mostrados a continuación permiten tener una mayor comprensión de la máquina de estados que coordina los módulos y de cómo se interconectan cada uno de ellos respectivamente.

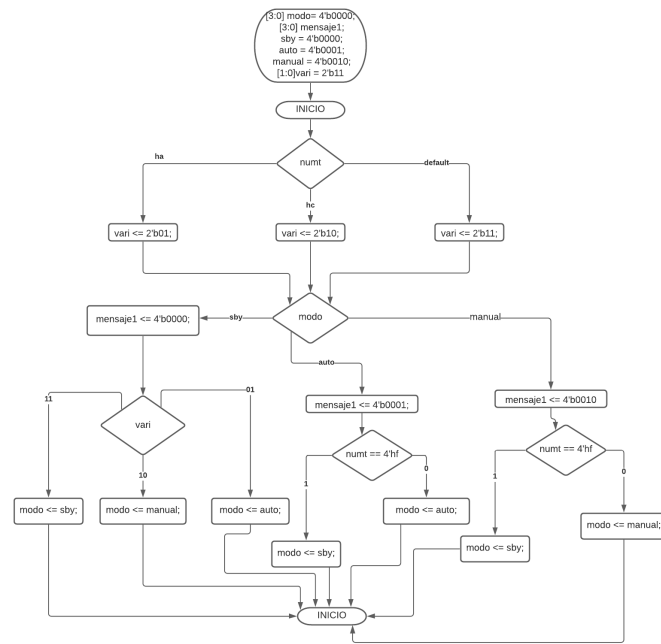


Fig. 26: Diagrama de flujo Copia

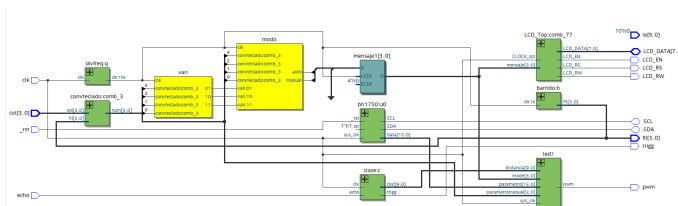


Fig. 27: RTL Copia

VII. CONCLUSIONES

- El desarrollo del sistema descrito es capaz de controlar la intensidad de iluminación de una bombilla y permite relacionar las variables de entrada con la respuesta del sistema de manera satisfactoria.
- La modulación por ancho de pulsos fue un recurso esencial en el desarrollo del proyecto, permitiendo controlar tanto las variaciones en el brillo como la energía consumida por el led, la señal emitida por el sensor ultrasonido y modificar la frecuencia de trabajo para el funcionamiento adecuado de periféricos como el teclado matricial.
- El proyecto desarrollado, al permitirle al usuario elegir entre un modo manual y un modo automático, establece dos tipos de respuestas del sistema, una autónoma dirigida por la información recibida del sensor de luz, y otra

recibida directamente del usuario mediante el teclado, siendo así un sistema de iluminación que no requiere de una intervención constante de las personas para su adecuado funcionamiento.

- El resultado expuesto en el presente informe es apropiado para entornos cuyas condiciones lumínicas no son estables, logrando una adecuación en tiempo real a las condiciones y suministrando solamente la cantidad de luz necesaria cuando se requiera, de modo que proporciona una solución para la problemática inicialmente planteada.

REFERENCES

- [1] R. Alvarez, "Introducción a las Máquinas de Estado Finito", Tecbolivia.com. [Online]. Available: <http://tecbolivia.com/index.php/articulos-y-tutoriales-microcontroladores/13-introduccion-a-las-maquinas-de-estado-finito>. [Accessed: 25- Apr- 2021].
- [2] J. Gutiérrez Orozco, Delta.cs.cinvestav.mx, 2008. [Online]. Available: <http://delta.cs.cinvestav.mx/mcintosh/cellularautomata/SummerResearchfiles/maquinasef.pdf>. [Accessed: 25- Apr- 2021].
- [3] "Usar un teclado matricial con Arduino", Luis Llamas, 2021. [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/>. [Accessed: 18- Apr- 2021].
- [4] A. Báez Aponte, L. Casas López and J. Navarro Gama, Parte I Modulo Ultrasonico. 2020.
- [5] "HC-SR04 Sensor Datasheet pdf - Ultrasonic Sensor. Equivalent, Catalog", Datasheetpdf.com, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://datasheetpdf.com/pdf/1380136/ETC/HC-SR04/1>. [Accessed: 28- May- 2021].
- [6] D. Alvarado Islas and J. Rodríguez Martínez, "Diseño e implementación de un sistema de medición de volumen basado en un sensor ultrasónico con monitoreo y control desde un Smartphone", Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, 2016.
- [7] Xukyo. (2020, 10 de febrero). Uso de un pantalla 16x2LCD con Arduino • AranaCorp. AranaCorp. <https://www.aranacorp.com/es/uso-de-un-pantalla-16x2lcd-con-arduino/>
- [8] Willyfox. (2013, 10 de febrero). Lcd 16x2. TodoElectrodo. <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>
- [9] Lozano, R. (2020, 6 de enero). Pantallas LCD Librería actualizada! Talos Electronics. <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/pantallas-lcd-liberia-actualizada>
- [10] Mouser.com, 2011. [Online]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>. [Accessed: 24- Aug- 2021].
- [11] "Basics of I2C communication - openlabro.com", openlabro.com, 2019. [Online]. Available: <https://openlabpro.com/guide/basics-of-i2c/>. [Accessed: 28- Aug- 2021].