

# Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Focos Incandescentes en los Hogares por Medio de un Control Remoto Universal

J. Yagual<sup>1</sup>, J. Asencio<sup>2</sup>, E. Herrera<sup>3</sup>

<sup>1-2</sup>Miembros del Proyecto de Graduación

<sup>3</sup>Director, profesor de la ESPOL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

jfyagual@fiec.espol.edu.ec<sup>1</sup>, jasencio@espol.edu.ec<sup>2</sup>, eherrera@fiec.espol.edu.ec<sup>3</sup>

## Resumen

*El presente trabajo expone el diseño e implementación de un sistema de control de focos incandescentes por medio de un control remoto universal ajustándolo al mercado de los hogares ecuatorianos y a las necesidades de la tecnología moderna para la iluminación. Se describe los antecedentes de la iluminación y cómo la evolución tecnológica ha dado paso a soluciones actualmente propuestas por cualquier sistema domótico, se explica el enfoque de estas soluciones, y se introduce al presente proyecto con su justificación y alcance. Luego se detallan las bases técnicas a utilizar para llevar a cabo la implementación del proyecto, esto es, el estudio de los protocolos de comunicación por infrarrojos y la selección del más apropiado; el uso del microcontrolador y sus prestaciones a los requerimientos del sistema. Posteriormente se expone la fase de diseño que comprende la fuente de poder, detector de cruce por cero, circuito de fuerza, detector infrarrojo, teclado y los algoritmos de programación del microcontrolador, así como también la explicación del control de operación del dispositivo. Finalmente se muestran los resultados de las pruebas de funcionamiento del dispositivo demostrando su óptimo desempeño.*

**Palabras Claves:** *Focos incandescentes, control remoto universal, sistema domótico, comunicación por infrarrojos, microcontrolador.*

## Abstract

*This paper presents the design and implementation of an incandescent bulbs control system through an universal remote control unit making it suitable for household market and the needs of modern lighting technology. It describes the lighting background and how modern technological developments have given the way to solutions currently proposed for any domotic system, it explains the approach to these solutions, and introduces justification and scope of the present project. The paper details also the technical bases to be used to carry out the project implementation, this is, the study of the infrared communication protocols and the selection of the most appropriate, the use of the microcontroller and its benefits to the requirements of the system. Subsequently it describes the design phase including the power supply, zero crossing detector, power circuit, infrared sensor, keyboard and the microcontroller programming algorithms, as well as the explanation of the device operation control. Finally, it shows the result of the device tests demonstrating optimum performance.*

**Keywords:** *Incandescent bulbs, universal remote control unit, domotic system, infrared communication, microcontroller.*

## 1. Introducción

En la actualidad el crecimiento tecnológico ha dado cabida a la introducción de nuevos sistemas que resuelvan los problemas y necesidades de la sociedad de una manera más eficaz y cómoda que los actuales. De aquí que muchos sistemas están quedando obsoletos y nuevas soluciones se incorporan a la gama de posibilidades de las personas para obtener cierto nivel de comodidad y bienestar en una aplicación

específica.

Los sistemas de iluminación constituyen una de estas necesidades tanto así que los sistemas modernos tienen que hacer algo más que encender y apagar una luz, deben ser elementos importantes para conseguir un nivel de confort dentro de un lugar y ahorro en la gestión de instalaciones.

El sistema tradicional no presenta soluciones modernas en la gestión de luminarias, no es posible ajustar el nivel de luminosidad a las necesidades del

usuario siendo lo mismo encender una luz en el día o en la noche e inclusive durante el día existen diferentes estados de iluminación que ofrece la luz natural, no es posible establecer escenas programadas en ambientes grandes que se ajusten a las diversas situaciones expuestas a diario en los hogares.

El presente proyecto implementa estas propuestas basado en una solución asequible y dirigida a hogares que permita a la sociedad avanzar un paso más en lo que respecta a domótica y las nuevas tecnologías que brinda en la actualidad proponiendo los siguientes objetivos.

- Diseñar e implementar un sistema para ajuste del nivel de luz de las luminarias de una casa con control manual e inalámbrico que sea asequible en términos monetarios a este sector de mercado.
- Brindar por medio de este sistema comodidad y confort en los diferentes ambientes de un hogar usando escenas de iluminación pre-grabadas.
- Lograr un ahorro en el consumo de energía en una casa en lo que respecta a iluminación con luces incandescentes.

## **2. Consideraciones de la tecnología moderna para la iluminación**

### **2.1. Antecedentes, necesidades y soluciones existentes**

Desde su creación las bombillas incandescentes han sido utilizadas y energizadas a través de un interruptor normalmente empotrado a la pared.

Con el pasar de los años y el avance tecnológico muchos de los equipos en los hogares ofrecen la posibilidad de manejarse a través de unidades de control remoto dedicadas y con respecto a la iluminación dispositivos conocidos como “dimmers” han sido introducidos para el control de una luminaria en reemplazo al interruptor común y corriente permitiendo ajustar el nivel de intensidad luminosa de cualquiera de las luces en los hogares.

En la actualidad existen recursos que solucionan total o parcialmente lo descrito anteriormente, entre ellos tenemos el protocolo de iluminación inteligente DALI, una de sus características más importantes es el hecho de que cada luminaria del sistema puede controlarse de forma individual, por grupos o de forma conjunta y simultánea, esto posibilita miles de combinaciones de luz en toda la casa que pueden ser alternadas a gusto del usuario. El sistema también permite enviar mensajes a las unidades de control y obtener información sobre el estado de su funcionamiento, tanto de forma individual como por grupos. Además, el estado de los balastos puede ser comprobado de forma totalmente automática. DALI ofrece también una gran flexibilidad para el

reagrupamiento de las luminarias y su regulación automática simultánea de todas las unidades una vez memorizadas las escenas de niveles de luminosidad. Su funcionamiento reside en una unidad de control configurada mediante comandos. Debido a la complejidad de su infraestructura este sistema está propuesto para el uso en empresas y edificios, y su implementación en hogares resultaría costosa.

Otro protocolo muy popular es el X-10 que no solo permite controlar luces sino los electrodomésticos del hogar en gran parte aprovechando para ello la instalación eléctrica de la casa evitando así la instalación de cables adicionales, ofrece características similares al DALI pero está diseñado para trabajar a 220V.

Existen también productos más sencillos en el mercado actual para el control de focos incandescentes con características limitadas, ofreciendo el encendido y apagado de luminarias incandescentes, y el control de intensidad “dimming” por medio de un control remoto dedicado y disponible para un foco en particular, algo que no es escalable ya que si se requiere controlar todos las luces del hogar se tendría que adquirir un equipo por cada luminaria y además manejar varias unidades de control remoto para cada dispositivo lo que resultaría más costoso e incómodo.

### **2.2. Descripción y alcance de la presente solución**

Tomando en cuenta las necesidades descritas y las soluciones existentes, se diseñará un dispositivo al alcance de los hogares desde el punto de vista económico que tenga características similares a los equipos con protocolo DALI pero menos robusto tal que se ajuste a las necesidades personales y no empresariales, que permita manejar con comodidad y facilidad el funcionamiento de las luminarias y que pueda ser de gran competitividad en este sector de mercado.

Su uso será por medio de un control remoto universal para activar cada una de las luminarias del hogar, implementando una facilidad de uso comparable al control de otros dispositivos como la TV. La unidad de control remoto universal puede ser la misma utilizada para controlar la TV o DVD con la opción de VCR disponible para su reuso.

Se controlará hasta 3 focos incandescentes por módulo y sus funciones principales serán las siguientes:

- Encendido y apagado progresivo de los focos, recreando una propuesta interesante en lo que respecta a iluminación decorativa conocida como encendido progresivo (fade in) y desvanecimiento (fade out) no controlado que permitirá añadir un toque llamativo al encendido y apagado de las luces.

- Control de intensidad, lo que permite reducir el consumo de energía respecto al consumo de las luces incandescentes ajustando sólo la requerida.
- Programación de escenas o encendido por grupos, lo que permite guardar el nivel de intensidad de dos o más luces en un escenario dado.

Además el sistema podrá ser escalable para direccionar hasta 9 focos con tres equipos para un ambiente que así lo requiera. Y en ambientes separados, debido a la línea de vista, reusar las direcciones para controlar cuantos focos sea necesario.

También tendrá funciones como encendido, apagado de todas las luces a la vez y el control de pared del sistema, el cual será similar al interruptor común y corriente empotrado en la pared pero con un funcionamiento digital que permita controlar los tres focos en forma individual para un manejo básico.

Este proyecto también sería de mucha utilidad en las viviendas si los usuarios son de edad avanzada o discapacitados que no tengan facilidad de movimiento.

### 3. Bases técnicas del proyecto

#### 3.1. Comunicación por infrarrojos y protocolo SIRC

La luz infrarroja de las unidades de control remoto se encuentra entre los 850 y 980nm que caen dentro del infrarrojo cercano.

Con respecto a la señal desde el punto de vista eléctrico, es modulada por el emisor para permitir al receptor distinguir entre la señal de interés y el ruido generado por cualquier material emisor de calor. Existen diferentes técnicas de modulación y codificación siendo la más usada la modulación de amplitud (OOK) *On-Off Keying*, la cual constituye una de las técnicas más simples y antiguas donde la trama de datos se transmite en forma de pulsos a determinada frecuencia, separados por espacios de tiempo donde no se genera ninguna señal. El receptor es sintonizado a una determinada frecuencia (frecuencia central) y el ruido restante que se haya podido recibir es retirado por un filtro pasa-banda. En el mercado se puede encontrar receptores integrados que se encargan de realizar estas tareas por sí solos de diferentes fabricantes como el de Radio Shack que utilizado en el presente proyecto.

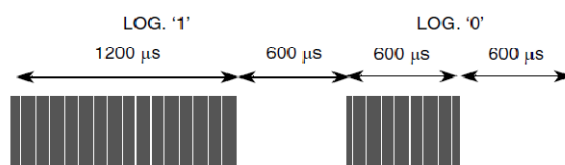
Los sistemas por modulación de amplitud usan diferentes métodos de codificación, uno de ellos es la codificación por ancho de pulsos, donde el tiempo de duración de estos define si se transmite un "1" o un "0" mientras que la distancia entre los pulsos permanece constante.



**Figura 1.** Codificación por ancho de pulsos.

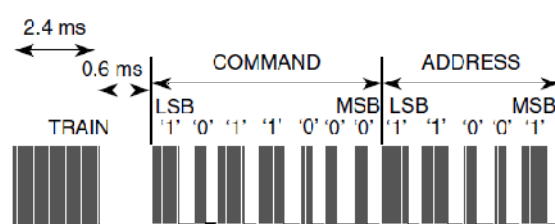
Este tipo de codificación fue creado por la empresa SONY y debido a la facilidad en su decodificación y su popularidad fue seleccionado para el presente proyecto.

El protocolo consta de una trama de datos de 12 bits donde 7 de ellos corresponden al comando o tecla pulsada y los 5 restantes a la dirección o tipo de dispositivo. El bit "1" está denotado por un tren de pulsos de 1200us seguido de un espacio de 600us mientras que el "0" por un tren de pulsos de 600us seguido de un espacio de 600us. La frecuencia de la portadora es de 40KHz. Este protocolo es conocido como SIRC.



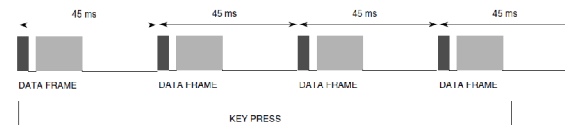
**Figura 2.** Codificación de bit del protocolo SIRC.

La trama está precedida por un tren de pulsos de 2.4ms y un espacio de 600us conocido como pulso de inicio.



**Figura 3.** Estructura de la trama del protocolo SIRC.

La función de autorepetición (cuando se mantiene presionado un botón) para este protocolo se define como la repetición de la misma trama de 45ms de duración una tras otra. Para completar estos 45ms se hará uso de un espacio adicional o tiempo muerto a continuación del último bit enviado.



**Figura 4.** Secuencia completa de la trama de autorepetición de SIRC.

En el presente proyecto se empleará la codificación de SIRC con una dirección equivalente al dispositivo de VCR Betamax aprovechando que actualmente no son usados.

Sin embargo una actualización del firmware específicamente del módulo programado "Decodificador de IR" permitiría reusar la dirección de otro dispositivo e inclusive otro protocolo.

#### 3.2. Especificaciones del módulo receptor de IR

El módulo con número de parte 276-640 de Radio Shack está diseñado para trabajar con longitudes de onda de  $940 \pm 50 \text{nm}$ , se encarga de demodular la señal proveniente del control remoto, posee una frecuencia central de 38KHz, aunque el protocolo SIRC requiere de 40KHz la atenuación de la señal relativa a esta pequeña desviación de frecuencia es fácilmente manejable. Posee un circuito de control de ganancia automática y un filtro pasabanda que en conjunto le dan inmunidad a señales perturbadoras provenientes del Sol, focos incandescentes, lámparas fluorescentes y toda luz infrarroja que se propagase de forma continua, tiene compatibilidad para circuitos CMOS y TTL, y es de bajo consumo de energía.

### 3.3. Prestaciones del microcontrolador PIC16F886

El PIC16F886 es un microcontrolador de la gama media fabricado por la empresa MICROCHIP. Su elección se debe a las siguientes características que son muy importantes en el desarrollo del proyecto:

- Memoria EEPROM de 256 bytes para almacenar el direccionamiento de las luminarias y los grupos o escenas creadas.
- Capacidad de hardware para depuración de código en el circuito real (in-circuit debugger) lo que permite corregir eficientemente las líneas de programa y detectar errores de una manera más rápida durante el diseño del firmware.
- Manejo de múltiples fuentes de interrupción controladas bajo un solo vector lo que permite dar servicio a ciertas rutinas críticas en el momento justo y evitar retrasos que impidan el funcionamiento óptimo del sistema.
- Dos temporizadores de 8 bits con pre-escaladores configurables para la implementación del manejo de la recepción de comandos de la unidad de control remoto y control PWM de una de las cargas.
- Un temporizador de 16 bits configurable como un módulo comparador dual, característica aprovechada para controlar las dos cargas restantes vía PWM con un solo temporizador.

## 4. Diseño del sistema

Para este diseño se bosquejó el siguiente diagrama de bloques:

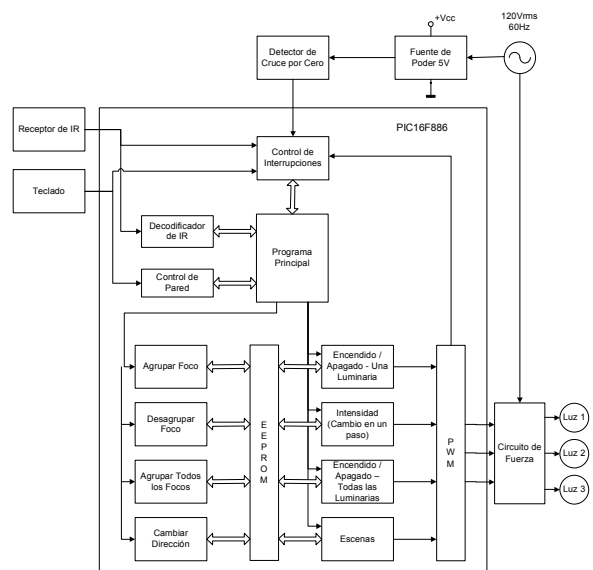


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema.

Entre sus bloques principales podemos mencionar los siguientes.

### 4.1. Detector de cruce por cero

Fue diseñado a fin de lograr sincronización entre el voltaje de línea y el módulo programado PWM que como muestra la figura controlará el disparo en el circuito de fuerza.

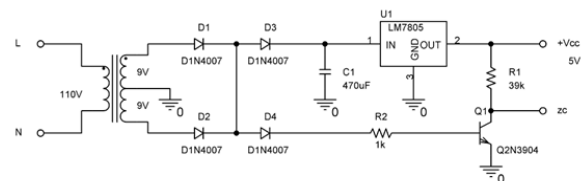


Figura 6. Esquemático de la fuente de poder y detector de cruce por cero.

En referencia a la figura anterior el detector de cruce por cero está conformado por D4, R1, R2 y Q1.

Cuando la onda es un tanto mayor que cero el transistor Q1 se satura obteniendo en la salida "zc" un voltaje aproximadamente igual a cero. De lo contrario, cuando la onda es muy cercana a cero, el transistor se abre permitiendo a la salida un pulso momentáneo a 5V como se observa en la siguiente figura.

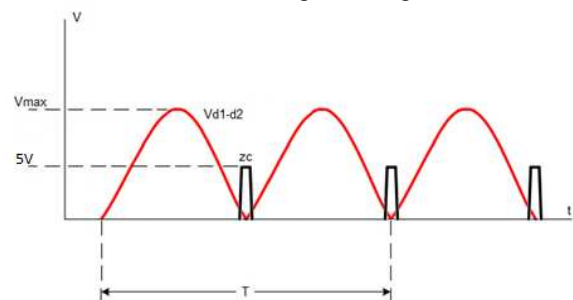


Figura 7. Formas de onda del cruce por cero y de la onda rectificadora de la fuente de poder.

## 4.2. Control de operación

Se cuenta con dos tipos de controles, el inalámbrico (control remoto) y el de pared.

El inalámbrico permitirá seleccionar entre cuatro tareas de uso y cuatro tareas de programación del dispositivo. El tiempo de espera entre pulsaciones de teclas será de 3 segundos para cualquiera de las tareas a realizar. Son las siguientes:

Tareas de uso:

- 1) Encender/apagar foco.- Se realizará usando una tecla de dígito seguida de la tecla power (Número + Power).  
La tecla de dígito permitirá direccionar cada luminaria con lo que se diferenciará una de otra.
- 2) Control de Intensidad.- El control de intensidad se llevará a cabo con la tecla dígito (dirección del foco) seguida de la tecla Ch+ o Ch- (Número + Ch+/Ch-) dependiendo si se desea aumentar o disminuir el nivel de intensidad del foco seleccionado. La tecla channel podrá ser usada con pulsaciones sucesivas o simplemente con una sola pulsación constante y duradera.
- 3) Encender Grupo o Escena.- Para encender una escena previamente guardada en la memoria del sistema se usará la tecla Play seguida del número de escena usado al momento de guardar (Play + Número). Se podrá contar hasta con un máximo de 10 escenas incluyendo el dígito 0.
- 4) Encender / Apagar Todas las Luces.- Con esta opción se permitirá encender o apagar todos los focos sin importar la dirección a la que pertenezcan, se lo hará con la combinación de teclas Play + Power.

Tareas de Programación:

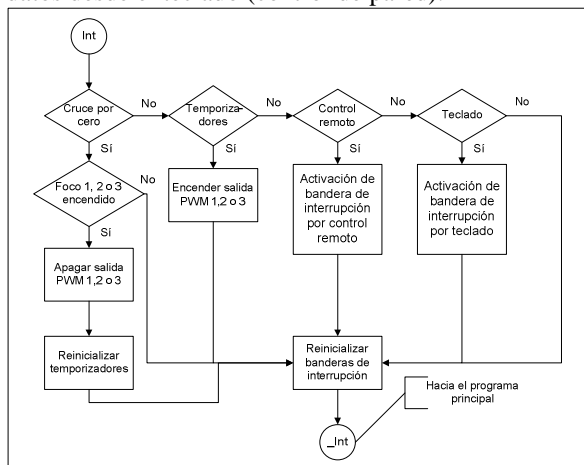
- 5) Cambiar Dirección.- Para cambiar la dirección o número de foco de su valor de fábrica se lo hará con la combinación de teclas:  
Display + Número (anterior) + Play + Número (nuevo)  
Donde Número (anterior) corresponderá al dígito de dirección antiguo y Número (nuevo) a la nueva dirección de la luminaria.
- 6) Crear un Nuevo Grupo con Todos los Focos.- Con esta opción se detectará el nivel de intensidad actual de todas las luminarias inclusive si alguna está apagada y se guardará en la memoria EEPROM para su posterior activación. La combinación de teclas es la siguiente:  
Display + Forward + Número (del grupo a crear)
- 7) Agregar un Foco a un Grupo.- Si sólo se desea almacenar un número determinado de luminarias y no todas a un grupo para permitir que las otras no sean afectadas, se usará esta opción para agregar los focos uno a uno, con la siguiente combinación de teclas:  
Display + Número (del foco) + Fwd + Número

(del grupo)

- 8) Quitar Foco de un Grupo Existente.- Si por el contrario se desea excluir un foco de un grupo existente para que éste no sea afectado por la escena, se lo hará de la siguiente manera:  
Display + Número (del foco) + Rev + Número (del grupo)

## 4.3. Programa principal y control de interrupciones

El programa principal se puede dividir en dos etapas, la primera se encarga de la espera por la activación de alguna interrupción y la segunda de la respuesta al servicio de una interrupción previa, tanto la activación de los dispositivos de entrada del sistema como el manejo de los requerimientos de los periféricos internos del microcontrolador se manejan a través de interrupciones, como se dispone de un solo vector de interrupción, es necesario que las rutinas de servicio sean lo más rápidas posibles; sin embargo las rutinas de servicio de los periféricos de entrada toman un tiempo relativamente grande ya que tienen que procesar información externa. De este modo, este tipo de interrupciones serán servidas dentro del programa principal, estas son la interrupción por envío de datos desde la unidad de control remoto y la de envío de datos desde el teclado (control de pared).



**Figura 8.** Algoritmo de control de interrupciones.

Las interrupciones de cruce por cero y temporizadores, como observamos en la figura anterior, están ligadas al diseño del PWM y su procesamiento no toma mucho tiempo por lo que son servidas dentro de este control.

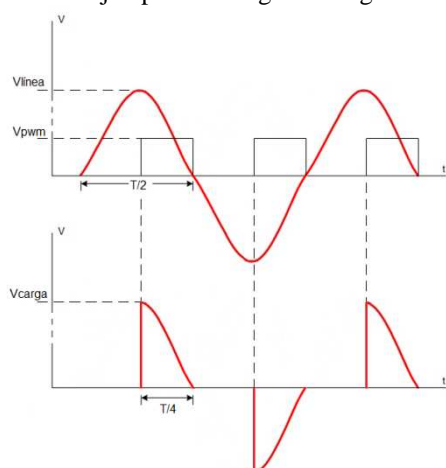
Cuando ocurren interrupciones debido a los dispositivos de entrada simplemente se activa una bandera para luego ser reconocidas al volver al programa principal.

Ya en el programa principal si de interrupción por teclado se tratase, se consultará la tecla activada para

realizar la tarea correspondiente, ya sea encendido/apagado de un foco o aumento/disminución de intensidad luminosa. Si la interrupción fue debido al control remoto, entonces se consultará por la tecla pulsada, si con esta se completa la combinación de teclas que corresponden a una tarea, como vimos en el control de operación, entonces se llamará a la función o bloque que realiza la tarea correspondiente, caso contrario el sistema quedará a la espera de una nueva tecla tal que se complete la combinación requerida, si la pulsación de una nueva tecla no ocurre dentro de 3 segundos, el programa volverá a principal y descartará los datos recibidos hasta ese entonces.

#### 4.4. PWM

El control de intensidad de luz de los focos estará dado mediante el recorte de voltaje eficaz que reciben, esto se logra mediante el uso de triacs cuya activación estará gobernada por el módulo PWM como se puede observar en el ejemplo de la siguiente figura:



**Figura 9.** Señal PWM con un ciclo de trabajo del 50% y el voltaje aplicado a la carga.

A pesar de que este microcontrolador permite configurar internamente sus temporizadores como módulos PWM, la frecuencia mínima configurable está muy por arriba de los 60 Hz que se necesitan (orden de los KHz) y además no permite realizar la sincronización con señales externas por lo que sería muy difícil su uso en esta aplicación.

Sin embargo existe otra herramienta que junto con una programación adecuada permite diseñar un PWM con las características requeridas, esta herramienta es el “modo comparador” del TMR1.

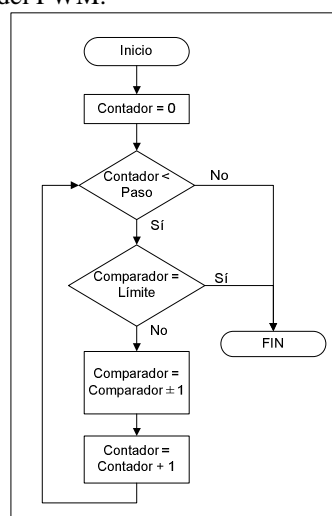
En este modo se cuenta con dos registros CCPR1 y CCPR2 de 16 bits cada uno, por tanto es posible configurar 2 comparadores que se usarán para el PWM 1 y 2, se hará referencia a estos registros como CCPRx.

Cuando el sistema está activado (configuración adecuada de CCPxCON), el registro CCPRx es constantemente comparado con el valor del

temporizador 1 (TMR1) que es encendido y activado cada cruce por cero, cuando los dos valores son iguales el comparador puede configurarse para provocar una interrupción por software.

De este modo, se usa la interrupción para activar la señal PWM en el tiempo complementario al ciclo de trabajo para luego desactivarla en cada cruce por cero.

Para conseguir encender, apagar y controlar intensidad en las cargas es necesario que el valor CCPRx sea dinámicamente cambiado y esto se lo hará en pasos de tiempo experimentalmente acordados que constituirán la mínima expresión de cambio del ciclo de trabajo del PWM.



**Figura 10.** Algoritmo de aumento/disminución de un paso.

Para subir la iluminación se debe recorrer el valor del comparador hacia el inicio de la onda por tanto el CCPRx se resta, para bajar la iluminación se realiza el proceso contrario.

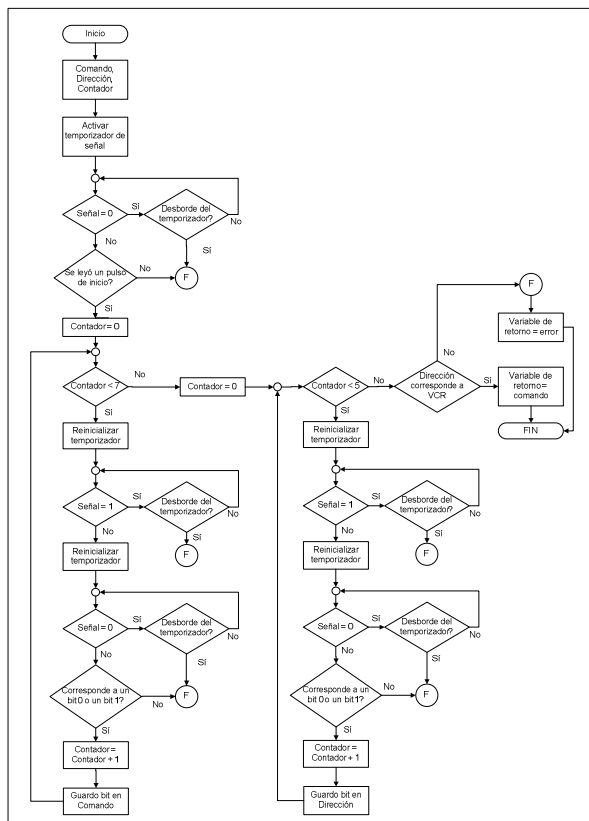
El control de intensidad y el encendido / apagado progresivo (fading) se basan en un barrido de la señal de salida del módulo PWM de un ángulo de disparo inicial a otro final en un tiempo dado.

Para controlar el tercer foco, debido a que el microcontrolador no posee más comparadores se hará uso del temporizador 0 (TMR0) de 8 bits.

El funcionamiento es el mismo con la diferencia de que la interrupción ahora ocurrirá en el momento del desborde del temporizador y se usará el valor de Carga Inicial del TMR0 para tener control sobre el tiempo de desborde.

#### 4.5. Decodificador del protocolo SONY IR

Debido a que la señal está codificada en anchos de pulso, la decodificación se basará en el conteo de estos tiempos, para este proceso se hace uso del temporizador TMR2 y además se considera que la lógica de recepción es negativa.



**Figura 11.** Algoritmo de decodificación de las señales del protocolo SIRC.

Inicialmente la entrada cambiará a bajo indicando que se leerá un comando desde el control remoto momento en que el temporizador comenzará a contar. A esta parte de la señal se la conoce como pulso de inicio y según el protocolo tiene una duración de 2.4 ms teóricos, en la práctica se ha considerado un porcentaje de tolerancia de  $\pm 20\%$  para evitar falsos errores de lectura.

En el momento en que la entrada regrese a alto el temporizador dejará de contar y comparará si el valor registrado se encuentra dentro del rango de tolerancia, si es así se validará el pulso de inicio y se pasará al siguiente paso, caso contrario la función retornará error. La función también retornará error si se diera el caso de que la entrada permanezca en bajo por un lapso de tiempo mayor a 4.08 ms correspondiente al valor de sobrecarga del temporizador.

Usando el mismo procedimiento se leerán a continuación siete anchos de pulso más que deben estar dentro del rango de  $600\mu s$  para lectura de un cero lógico y  $1200\mu s$  para lectura de un uno lógico.

Si la lectura es exitosa estos bits representarán el comando o tecla pulsada del control remoto y constituirán la variable de retorno.

Posteriormente se leerán 5 bits más que corresponden a los de dirección, esto es para garantizar que el dispositivo controlado corresponde a una VCR (reusado por el presente proyecto) y no a una TV o

DVD. De ser así la función terminará su trabajo retornando el valor del comando leído, de lo contrario retornará error. El código correspondiente a VCR es  $0x02$ .

#### 4.6. Encendido/apagado, control de intensidad y escenas

Para lograr el retardo requerido en el encendido y apagado de las luces (encendido progresivo y desvanecimiento) bastará con ejecutar continuamente el algoritmo de aumento/disminución de un paso interponiendo un retardo entre cada ejecución, con esto se consigue un barrido completo en aproximadamente 1.5 segundos, tiempo experimentalmente considerado vistoso.

Para el control de intensidad el número de pasos recorridos dependerá del tiempo que el usuario mantenga presionada la tecla de cambio de intensidad o de las pulsaciones que realice con la misma.

Para el control de escenas se usará la memoria EEPROM interna del microcontrolador para recordar los niveles de intensidad previamente guardados por el usuario. Al activarse una escena, se aumenta o disminuye según el caso el nivel de intensidad en la cantidad equivalente a un paso para cada una de las cargas pertenecientes a la escena, esto se realiza en las cargas una por una en un lazo repetitivo hasta que todas ellas lleguen al ciclo de trabajo indicado en la memoria EEPROM. Así a la vista del usuario parecerá que todos cambian de nivel de intensidad a la vez.

#### 5. Plan de pruebas y resultados obtenidos

Durante el diseño del sistema fue necesario observar algunas señales características de los bloques descritos a continuación y verificar sus datos proporcionados para asegurar que sean los requeridos por el proyecto.

- Se revisó la señal de una tecla en particular con el objetivo de analizar la trama de datos y verificar que sea la correcta, medir los tiempos de codificación de bit, espacios entre tramas y frecuencia de portadora experimentales para asegurar que estos datos sean cercanos a los teóricos.
- Se revisó la recepción de una trama de datos en particular para verificar que la demodulación se haya realizado correctamente, medir posibles desviaciones en los tiempos de bit receptados y asegurar que estos se encuentren dentro de los parámetros de tolerancia del bloque decodificador y por tanto puedan ser procesados correctamente.
- Se revisó la respuesta de la intensidad luminosa ante los cambios de ángulos de disparo para verificar que la señal generada por el bloque PWM active correctamente al bloque de fuerza y

esto se refleje en la carga, se verificó además cuán lineal es la respuesta de intensidad luminosa ante cambios contantes (pasos) del ángulo de disparo.

- Se realizó la medición de la señal de cruce por cero para revisar el desfase experimental debido al diseño del circuito y tomar las respectivas correcciones desde código.
- Se revisó la respuesta a un paso en el control de intensidad para medir el cambio del ciclo de trabajo.

Se obtuvo lo siguiente:

- Respecto a la recepción de código se pudo comprobar que el filtrado de la señal se realizó correctamente sin haber sido perturbada por ruido u otras señales externas.
- Luego del filtrado se observó pequeños desfases en los anchos de pulso que representan a cada uno de los bits, estos se vieron mayormente afectados por la irradiancia de la luz infrarroja de la unidad de control remoto y las señales perturbadoras que incidan sobre el módulo detector en un determinado momento, tomando en cuenta que la frecuencia central teórica del receptor es de 40KHz y se trabaja con señales de 38KHz.
- Se observó un comportamiento aproximadamente lineal del voltaje aplicado al foco con respecto al ángulo de disparo, lo que permitió configurar cambios de paso constantes en el control de intensidad, sin embargo hay que considerar que acercándose a los extremos su comportamiento deja de ser lineal pero no influye mucho en la percepción por parte del usuario.
- Por otro lado, como la frecuencia del voltaje de línea varía, el tiempo en desfase de la activación del cruce por cero va a ser levemente variable a pesar de la corrección realizada mediante código, sin embargo esto no afecta al funcionamiento del sistema.
- Con respecto al control de intensidad, la cantidad de pasos necesaria para cambiar la intensidad de un foco de estado apagado a totalmente encendido o viceversa, se encuentra sujeta al tiempo en que se mantenga presionada la tecla para dicha función, para el mínimo de tiempo por cada pulsación se calculó que el ciclo de trabajo varía en 1.4%.

## 6. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto ha aportado con una solución que ofrece comodidad y confort en lo que respecta al manejo y control de luminarias en las casas con características similares a algunos de los esquemas actualmente comerciales a nivel de grandes edificios y empresas.

El uso del control remoto universal para controlar las luces del hogar constituye un manejo eficiente de

esta unidad reusando su capacidad para controlar dispositivos VCR en el presente sistema de control de luminarias, evitando así el uso de unidades de control remoto dedicadas como lo ofrecen ciertos fabricantes.

Se desarrolló un sistema económicamente asequible al mercado de los hogares ecuatorianos que introduce la innovación tecnológica y el concepto de domótica al alcance de todos con una visión masificadora de la tecnología de la iluminación que apertura su mercado.

## 7. Referencias

- [1] CRAIG DILOUIE, Advanced Lighting Controls: Energy Saving, Productivity, Technology and Applications; The Fairmont Press, Inc.
- [2] FREESCALE SEMICONDUCTOR, Infrared Remote Control Techniques on MC9S08RC/RD/RE/RG Family, Application Note AN3053, Rev. 1 03/2008.
- [3] Información sobre luminarias incandescentes, halógenas, LFCs y LEDs, [www.osram.com](http://www.osram.com)
- [4] JULIO SÁNCHEZ, MARÍA P. CANTON, Microcontroller Programming: The Microchip PIC; CRC Press.
- [5] MICROCHIP, IR Remote Control Transmitter, Application Note AN1064.
- [6] MICROCHIP, PIC16F882/883/884/886/887 DATASHEET.
- [7] NIGEL GARDNER, An Introduction to Programming the Microchip PIC in CSS C.
- [8] TIM WILMSHURST, Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications, First Edition 2007, ELSEVIER.