

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### Diseño de un sistema de iluminación para el edificio Mc Gregor

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Miguel Eduardo Llaguno Rubio**

**ASESOR: Willy Carrera Soria**

Lima, Mayo de 2013

## RESUMEN

En la actualidad, la iluminación arquitectónica de exteriores está tomando gran fuerza en el mercado de la arquitectura logrando generar importantes cifras de dinero puesto que este tipo de sistema da un valor agregado a las estructuras arquitectónicas; estos sistemas están siendo utilizados como parte decorativa en una gran cantidad de edificios, que hace mucha más vistosa la parte exterior de estos dándoles un enfoque de gran modernidad y estatus. A nivel mundial hay gran desarrollo con respecto a este tema y es por eso que existe una gran variedad de productos para cada parte de estos sistemas; como ejemplos de iluminación arquitectónica en otros países tenemos al Rascacielos “La Torre” ubicado en Barcelona España, el Edificio del LED ubicado en China, el Complejo de Ocio Xicui en Pekín en China.

Nuestro país no es una excepción a estas tendencias, podemos encontrar varios ejemplos como la Torre de Interbank ubicada en el cruce de Paseo de la República con Javier Prado, el Teatro Mario Vargas Llosa ubicado en Javier Prado al costado del Museo de la Nación y el edificio de Edelnor en el distrito de San Miguel.

El objetivo de la presente tesis es el diseño de un sistema de Iluminación del área exterior del edificio C del complejo Mc. Gregor con un tipo específico de luminaria, seleccionando su excitador y por medio de un controlador lograr iluminarlo con efectos, que podrán ser programados mediante este. Además también se diseñará la fuente de alimentación necesaria para energizar el sistema.

En el capítulo 1 se encontrará información acerca de la situación actual en la iluminación de exteriores, encontrando ahí también tipos de iluminación empleada en el mercado para este tipo.

En el capítulo 2 se encuentra información más técnica acerca de iluminación de exteriores, conceptos básicos para poder entender el desarrollo de los objetivos de esta tesis: se encuentran en él: la tecnología LED para este tipo de iluminación, protocolos de iluminación y tipos de luminarias de acuerdo al tipo de iluminación que se quiera emplear.

En el capítulo 3 se podrá apreciar el diseño realizado para la fuente de alimentación del sistema, el diseño del controlador del sistema, el diseño de un interfaz para el usuario para poder comunicarse con el controlador, la selección de un tipo específico de luminaria

para el tipo de iluminación que se debe emplear y además la selección de un excitador para esta última.

Finalmente en el capítulo 4 se mostrarán simulaciones de los diseños realizados y además algunos ensayos físicos de estos que corroboren resultados de las simulaciones realizadas.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>SITUACIÓN ACTUAL EN LA ILUMINACIÓN DE EXTERIORES.....</b>	<b>2</b>
1.1 Tipos de iluminación de Exteriores.....	3
1.1.1 Iluminación General.....	3
1.1.2 Iluminación Bañadora.....	4
1.1.3 Iluminación Acentuadora.....	5
1.1.4 Iluminación de orientación.....	6
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN DE EXTERIORES EN LA ARQUITECTURA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Conceptos en iluminación.....	7
2.2 Tecnología de Iluminación de Estado Sólido.....	7
2.2.1 Ventajas de la tecnología LED.....	8
2.2.2 LED de Potencia.....	9
2.2.3 Valores Típicos de los LEDs de Potencia.....	9
2.2.4 LED de Potencia RGB.....	9
2.3 Tipos de Luminarias.....	10
2.4 Protocolo para la iluminación.....	11
2.4.1 Protocolo DMX512.....	12
2.4.2 ACN (Architecture for Control Networks).....	15
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....</b>	<b>16</b>
3.1 Objetivos.....	17
3.1.1 Objetivo Principal.....	17
3.1.2 Objetivos Específicos.....	17
3.2 Bloque Luminaria LED Multiefecto.....	19
3.2.1 Cálculos de luz requerida.....	19
3.2.2 Método de la intensidad luminosa.....	20
3.2.3 Método del lumen.....	20
3.2.4 Imágenes y dibujos del edificio Mc Gregor.....	21
3.2.5 Información sobre el edificio Mc Gregor.....	22
3.2.6 Cálculos.....	23

3.2.7 Selección de la luminaria.....	24
3.2.8 Criterio de selección.....	26
3.3 Bloque receptor de la señal de control.....	26
3.4 Bloque interfaz con el usuario.....	27
3.4.1 Visualizador.....	27
3.4.2 Teclado.....	28
3.5 Bloque control del sistema.....	31
3.5.1 Hardware.....	31
3.5.1.1 Selección del Microcontrolador.....	31
3.5.1.2 Generación de las tramas DMX+ y DMX-.....	32
3.5.2 Software.....	33
3.6 Fuente de alimentación para el control del sistema.....	36
3.7 Presupuesto del Desarrollo del Sistema.....	39
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>	
4.1 Descripción del programa.....	40
4.2 Simulaciones.....	40
4.2.1 Interfaz con el usuario.....	40
4.2.2 Señal DMX.....	42
4.2.3 Sistema de control completo.....	45
<b>Conclusiones.....</b>	<b>49</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>50</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>51</b>
<b>Anexos</b>	



## INTRODUCCIÓN

Conforme van pasando los años, la tecnología está avanzando de manera muy significativa, las edificaciones, estructuras que construye el hombre son cada vez más vistosas, además con la globalización que existe en estos tiempos, es muy importante la presencia de lo que se construye, todo se reduce al abastecedor y consumidor; todo se realiza para el mercado y todo producto entra por los ojos, es por esto que se busca impactar al mercado buscando dar una imagen de tecnología y modernismo. Esta es la búsqueda de toda organización.

En la actualidad se puede observar que cada vez existen mayor cantidad de edificaciones con diversas formas y detalles, estas son muestra del avance tecnológico y económico en el que se vive en estos tiempos; el boom de la construcción y arquitectura da lugar a la iluminación arquitectónica de exteriores que presenta una gran gama de elementos que hace de ella algo espectacular ante nuestros ojos, esta está siendo desarrollada en nuestro país recientemente, y por eso están entrando a nuestro mercado gran cantidad de productos que ofrecen la capacidad de construir un sistema de iluminación de este tipo con gran cantidad de efectos y variantes.

Existen muchas tecnologías para la iluminación arquitectónica de exteriores pero la que está tomando mayor fuerza es la tecnología de estado sólido (LED) por el desarrollo que está alcanzando y sus grandes prestaciones como el bajo consumo de potencia, la gran capacidad de iluminación, la alta eficiencia de trabajo y su larga durabilidad; todos estos parámetros son de gran consideración para el desarrollo de un sistema de iluminación y es por eso que prácticamente las otras tecnologías están quedando de lado.

Los LEDs no son más que simples diodos que emiten luz cuando la corriente necesaria atraviesa el material semiconductor del cual ellos están hechos, dependiendo del material con que hayan sido contruidos se puede variar la longitud de onda y por ende el color de la luz; estos son de tamaño considerablemente pequeño en comparación con la capacidad que desarrollan, gracias a estos dispositivos es que se han podido crear diversas cantidades de efectos que pueden ser personalizados y que antes uno no podía imaginar.

La presente tesis se basa en el diseño del sistema completo de un tipo seleccionado de iluminación arquitectónica decorativa y el diseño de la fuente de alimentación de este para el edificio C del complejo Mc. Gregor ubicado en la Pontificia Universidad Católica del Perú.





## Capítulo 1

### SITUACIÓN ACTUAL EN LA ILUMINACIÓN DE EXTERIORES

En la actualidad, la búsqueda de una gran presencia e imagen de las cosas que se construyen, está en la mente de todas las compañías que se dedican a la creación, y es por esto que hoy en día la iluminación está siendo muy tomada en cuenta para este tipo de trabajos puesto que tiene muy buenas prestaciones para la decoración y arte. [8]

Dentro de la iluminación decorativa, podemos encontrar la iluminación de exteriores, que es sin duda una de las aplicaciones más habituales e importantes de la iluminación, nos brinda la posibilidad de realizar actividades que van más allá de lo natural, en las calles podemos observar grandes edificios con sistemas de iluminación que van desde sencillos hasta muy complejos comprendiendo una gama inmensa de colores y efectos. Existen diversas tecnologías para la iluminación de exteriores, la gran mayoría de estos sistemas tan sofisticados son realizados con tecnología de iluminación en estado sólido, es decir tecnología LED, siendo estos el futuro de todo a lo que alumbrado respecta, por sus grandes prestaciones y su fácil manejo así como su bajo consumo de potencia.

A continuación se muestra los tipos de iluminación de exteriores, que son vistos en la actualidad en diversos lugares del mundo. [2]

#### **1.1 Tipos de iluminación de Exteriores [4, 5, 6]**

El efecto de locales, fachadas, objetos y vegetación depende mucho del tipo de iluminación, y es por esto que encontramos cuatro principales tipos de iluminación para exteriores:

- La iluminación General.
- La iluminación Acentuadora.
- La iluminación Bañadora.
- La iluminación de orientación.

##### **1.1.1 Iluminación General**

Es uniforme y está referida mayormente a un plano de trabajo horizontal o una superficie transitada. Los aspectos cuantitativos suelen ocupar el primer lugar. La iluminación directa admite tanto luz difusa como dirigida.

Luminarias usadas: Downlights dirigida (figura 1.1) y difusa (figura 1.2), luminarias de pared (difusa).



**Figura1.1** Iluminación [5] Dirigida      **Figura1.2** Iluminación [5] Difusa

En la figura 1.3 se puede ver el Palacio de Congreso, Valencia, en España, que es un claro ejemplo de este tipo de iluminación.



**Figura1.3** Palacio de Congreso, Valencia, en España

### 1.1.2 Iluminación Bañadora

Generalmente aplicada a elementos arquitectónicos. Sirve primordialmente para hacer perceptibles las proporciones y límites del espacio. Existen dos tipos de bañadores, los simétricos y los asimétricos; los bañadores simétricos se usan para el bañado de superficies o la iluminación básica del espacio libre. Los bañadores asimétricos se caracterizan por una distribución luminosa uniforme en las superficies.

Luminarias más usadas: Bañadores simétrico (figura 1.4) y asimétrico (figura 1.5), Luminarias empotrables de suelo (asimétrico).



**Figura 1.4** Simétrico [5]



**Figura 1.5** Asimétrico [5]

En la figura 1.6 se puede observar un ejemplo de este tipo de iluminación.

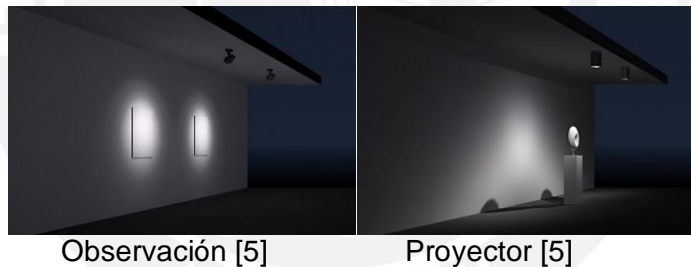


**Figura 1.6** Rascacielos “La Torre”, Barcelona España

### 1.1.3 Iluminación Acentuadora

La iluminación acentuadora enfatiza ciertos objetos o elementos arquitectónicos. De esta manera se va creando una jerarquía perceptiva, dirigiéndose la atención hacia donde convenga.

Luminarias más usadas: Proyector, Downlight proyector orientable (ver figura 1.7).



**Figura 1.7**

En la figura 1.8 se observa el edificio Ebro, en Madrid España que hace referencia a la iluminación acentuadora.



**Figura 1.8** Edificio Ebro, en Madrid España

#### 1.1.4 Iluminación de orientación

Definida a través de la función orientadora. Esto se puede conseguir mediante luminarias de iluminación o de señalización. La iluminación del local es de orden secundario, más bien hay una hilera de luminarias que forman una línea de orientación.

Luminarias más usadas: Bañador de suelo, Luminarias de pared, Luminarias de orientación.

En la figura 1.9, se observa el centro comercial temático Sevens, en el Hotel Hilton en Dubai, donde se puede apreciar las luminarias de orientación claramente.



**Figura 1.9** Centro comercial temático Sevens

## CAPÍTULO 2

### TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN DE EXTERIORES EN LA ARQUITECTURA

#### **2.1 Conceptos en iluminación [6]:**

Para entender todo lo referente a iluminación es necesario manejar algunos conceptos básicos acerca de esta, siendo los conceptos más utilizados a continuación:

**Iluminación:** Esta referido a la circunstancia por la cual la luz incide sobre alguna superficie o cuerpo, o en general a la condición de ser iluminado.

**Luz:** Es una energía electromagnética radiante que por esta condición puede ser percibida sin ningún tipo de problema por el ojo humano.

**Luminiscencia:** Es toda luz cuyo origen no radica exclusivamente en las altas temperaturas, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja.

**Flujo Luminoso:** Es la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es  $\Phi$  y su unidad es el lumen (lm).

**Intensidad Luminosa:** Flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd).

**Iluminancia:** Es el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm/m<sup>2</sup>.

#### **2.2 Tecnología de Iluminación de Estado Sólido:**

La iluminación de estado sólido un término usado para las fuentes de luz que incluyen diodos semiconductores emisores de luz (LED), diodos emisores de luz orgánicos (OLED) y diodos emisores de luz basados en polímeros (PLED). El término "sólido" hace referencia a que la luz de un dispositivo de estado sólido es emitida por un objeto sólido (en electrónica sería un semiconductor), en comparación con los tubos de vacío o de gas, donde la luz es emitida por un elemento en otro estado; este es el caso de las lámparas

fluorescentes y las bombillas incandescentes, utilizadas tradicionalmente en la iluminación [3, 8, 9].

Con esta tecnología se puede lograr obtener luz con una gama inmensa de colores y efectos que brindan una mayor eficiencia energética (menor consumo de potencia) y menor calentamiento, además presenta una mayor resistencia, duración y fiabilidad frente a todo tipo de condiciones de operación, lo que hace que tengan un excelente desarrollo en aplicaciones de la iluminación de exteriores. A continuación se detallan sus ventajas.

### 2.2.1 Ventajas de la tecnología LED [7, 8, 9]:

- Por ser dispositivos electrónicos, se pueden controlar de tal manera que puedan ajustarse a cualquier necesidad; pudiendo generar un sinnúmero de aplicaciones como automatización, decoración, iluminación, entre otros.
- Durabilidad: Los LEDs de potencia (mayormente usados para la construcción de luminarias para la iluminación en general) tienen una vida útil de 50000 hasta 60000 horas, dependiendo del uso y aplicación que se le asigne. Los LEDs de punto (presentaciones en 3mm, 5mm, 10mm) pueden durar más de 100000 horas en operación.
- Tienen un tamaño pequeño comparado con otro tipo de luminarias, lo que permite aprovechar mejor los espacios, logrando una mejor presentación para la iluminación.
- Eficiencia: Poseen un buen rendimiento de lúmenes por corriente consumida, pero conforme el dispositivo LED sea de mayor potencia, esta eficiencia es un poco menor, y aun así sigue siendo mayor a otras tecnologías, el promedio es de aproximadamente 70-90lm/Watt
- Se pueden obtener una inmensa gama de colores con el uso de los colores primarios (RGB), es por eso que hoy en día son muy tomados en cuenta por los arquitectos para los diseños de iluminación de sus estructuras.
- Su consumo de potencia es mínimo y su temperatura es baja en comparación con otras tecnologías, su temperatura de operación está alrededor de 45°C a 50°C
- Poseen una rápida respuesta frente a cambios, es decir que se puede trabajar con sistemas de conmutación sin ningún problema, su respuesta está en el orden de los microsegundos.

Como ya se había mencionado anteriormente para la iluminación arquitectónica con tecnología de estado sólido se usan los LEDs de potencia que son con los que se construyen las luminarias LED.

**2.2.2 LED de Potencia:**

Es una tecnología que se viene desarrollando desde hace varios años, pero que recientemente por sus buenas características está apareciendo en el mercado como un boom, este tipo de LED se diferencia de los convencionales por el manejo de gran potencia sin modificar la alta eficiencia del mismo y además proveer abundante intensidad luminosa. Manejan corrientes que van desde 350mA hasta 1.5 A con potencias de 1W, 3W, 5W, 10W, 20W hasta 50W que son los más conocidos en el mercado e intensidades luminosas desde 30 lúmenes hasta 7200 lúmenes [4,14].

**2.2.3 Valores Típicos de los LEDs de Potencia [4, 14 ]**

Valores Típicos	Voltaje	Corriente
1 Watt	3.2~3.7v	300~350mA
3 Watts	3.2~3.7v	600~800mA
5 Watts	6~7v	600~700mA
10 Watts	9~11v	700~800mA
20 Watts	13~15V	1.400mA
30 Watts	30~34v	900~1.000mA
50 Watts	30~35v	1.300~1.500mA

(Elaboración propia)

**2.2.4 LED de Potencia RGB**

Es una tecnología que poseen los LEDs para desarrollar una gran gama de colores, esta consiste en tres LEDs en un solo encapsulado, y este posee tres ánodos y un solo cátodo, cada uno de estos es un color primario (rojo, verde y azul), y variando la corriente por cada uno de ellos podemos lograr combinaciones dando origen a una interminable cantidad de colores.

Su control básicamente se realiza mediante ondas PWM (modulación por ancho de pulso), que son aplicadas a cada uno de los LEDs internos que poseen los RGB, haciendo esto lo que se quiere es ir variando la intensidad de corriente, cada valor de

corriente representa un tono del color y dependiendo de la resolución (en bits) de la onda se puede obtener la cantidad de colores [14,4].

**2.3 Tipos de Luminarias** [1, 5, 6,12]:

Hay muchos tipos de luminarias disponibles, con los que se pueden satisfacer una gran variación de necesidades de iluminación. En los espacios exteriores se emplean primordialmente luminarias fijas.

Se puede apreciar la mayoría de tipos de luminarias en la tabla 2.1 que muestra el tipo de luminaria y un ejemplo de este mismo.

**Tabla 2.1** Tipos de luminarias

Prototipo	Ejemplo
 <p>Proyectores</p>	 <p>Proyector LED GREVILUX, 54 Watts</p>
 <p>Bañadores</p>	 <p>Bañador de LED RGB DMX512</p>
 <p>Bañador de pared</p>	 <p>Bañador de pared Philips (LED)</p>



 <p>Luminarias para espacios libres y calles</p>	 <p>Lámpara ERCO LED para espacios libres</p>
 <p>Downlights</p>	 <p>Downlight LED Philips</p>
 <p>Luminarias de techos y paredes</p>	 <p>Luminaria para iluminación de techos</p>
 <p>Luminarias empotrables de suelo</p>	 <p>Luminaria LED empotrable en el suelo (convencional)</p>
 <p>Luminarias de orientación</p>	 <p>Luminarias de Orientación LED iGuzzini</p>

(Elaboración propia)

#### **2.4 Protocolo para la iluminación:**

Como ya se ha visto, existen diversos tipos de luminarias para diferentes aplicaciones según el tipo de iluminación que se quiera emplear. Para el tipo de iluminación decorativa existen protocolos de control diseñados específicamente para desarrollar efectos

especiales con las luminarias y así poder iluminar de manera más vistosa la zona la cual se quiere resaltar. La mayoría de luminarias poseen receptores para estos protocolos para poder ser controladas de manera más sencilla.

#### 2.4.1 Protocolo DMX512 [18]

DMX512 (o DMX, Digital MultipleX), es un protocolo de comunicaciones usado para controlar la iluminación de escenarios y equipos de efectos especiales como máquinas de humo, espuma, cabezas móviles, proyectores, luminarias para decoración de exteriores, entre otras aplicaciones.

Desarrollado por la Comisión de Ingeniería de USITT, el estándar comenzó en 1986. ESTA (Entertainment Services and Technology Association) tomó el control en 1998 y un nuevo estándar fue aprobado por ANSI en noviembre del 2004, conocido como "E1.11, USITT DMX512-A", o sólo "DMX512-A".

#### La señal DMX

El fundamento eléctrico del protocolo DMX512 se basa en el estándar RS-485. Debido a la técnica de transmisión digital simétrica diferencial (data+ y data-), la señal es menos sensible a influencias externas, incluso a velocidades de hasta 10Mbit/s. DMX, en concreto, transmite desde el controlador a través de un cable XLR, de manera asíncrona, con una tasa de 250kbit/s. Los datos se transmiten en tramas compuestas por 1 bit de start, 8 bits de datos y 2 bits de stop, agrupadas en paquetes de 512 tramas. Estos paquetes presentan ciertas características, entre las que destacan la inclusión de una señal que informa de la llegada de un nuevo paquete (Break) y de un byte de Start. A continuación se adjunta la tabla 2.2 en la que se detallan los tiempos de cada una de los elementos que componen dicha señal, acompañada de un diagrama explicativo mostrado en la figura 2.1:

**Tabla 2.2** Partes de la trama DMX

	Descripc.	Mín.	Tip.	Máx.
1	Break	88us	88us	1s
2	Mark after break	8us	8us	1s
3	Tiempo de trama	43,12us	44us	44,48us
4	Start-bit	3,92us	4us	4,08us
5	2 Stop-bits	7,84us	8us	8,16us
6	Mark time (entre tramas)	0us	---	1s
7	Dead time (entre paquetes)	0us	---	1s

Elaboración [18]

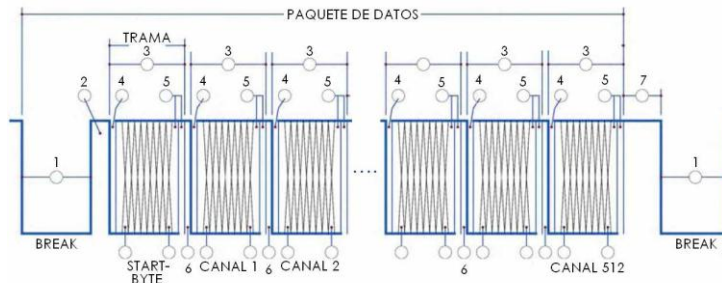


Figura 2.1 Diagrama ejemplo de tiempos de la trama DMX

### Configuración de un sistema DMX

La señal DMX es enlazada entre aparatos a través de una "cadena margarita". El cable DMX con la señal original sale de un controlador DMX y es enviada al primer aparato del enlace DMX. Todos los aparatos con soporte para DMX tienen conectores DMX de entrada y de salida. Así pues, desde el conector de salida del primer aparato se conecta otro cable DMX que se dirige al conector de entrada del siguiente aparato y así sucesivamente. Al final del enlace DMX, es decir, en el conector de salida del último aparato, siempre es recomendable colocar un "terminador" DMX que cierra el enlace, normalmente una carga de 120 Ohmios. A continuación se observa un ejemplo referencial (figura 2.2):



Figura 2.2 Ejemplo de funcionamiento

El estándar especifica un largo máximo de 500 metros y 32 estaciones de carga, esto es, 32 aparatos, para una cadena DMX, pero de acuerdo con las condiciones presentes en cada aplicación esta cifra puede variar.

### **Universos, canales y valores DMX**

El funcionamiento del protocolo se fundamenta en la utilización de "canales" para transmitir órdenes de control a los aparatos que lo soporten. DMX512 tiene un límite de 512 canales por "universo" y cada canal se puede regular desde el valor 0 hasta el valor 255, que son los "valores" DMX.

Un foco de luz convencional controlado a través de un dimmer o regulador con soporte para DMX utiliza generalmente un canal DMX ya que sobre lo único que tendríamos control es la intensidad luminosa. Así pues, el valor DMX 0 generalmente significará que la intensidad del foco estará apagado, y el valor DMX 255 que el mismo esté en su máximo nivel: encendido al 100%.

Dispositivos más complejos, tales como las luces móviles o máquinas de humo requieren de mayor cantidad de canales DMX al tener más funciones, las cuales pueden ser controladas independientemente. Generalmente cada canal DMX controla un parámetro (también llamado "efecto") específico del aparato.

De esta manera, por ejemplo, el canal DMX 1 servirá para controlar el nivel de intensidad luminosa, y el canal DMX 2 para controlar el efecto estrobo de la misma, el canal DMX 3 para la rueda de gobos y así sucesivamente.

### **Dirección DMX**

La señal DMX enviada desde un controlador contiene comandos DMX para todos los aparatos en el enlace, pero no tiene forma de saber a dónde están siendo enviados estos comandos. Es por ello que es necesaria la configuración de la dirección DMX en cada aparato, para lo que éstos suelen constar de un DIP o similar, que permite seleccionar una dirección de comienzo entre 0 y 511.

Si un elemento requiere la utilización de más de un canal, las direcciones sucesivas a la de inicio serán las correspondientes a los sucesivos canales. Lo único que hay que tener en cuenta es que las direcciones DMX de los aparatos nunca deben estar entrecruzadas ya que esto originaría una respuesta inesperada de los mismos.

#### 2.4.2 ACN (Architecture for Control Networks) [19]

Es un protocolo de comunicación bidireccional de alta velocidad que se transmite sobre una red Ethernet, desarrollado por ESTA (Entertainment Services and Technology Association) como reemplazo del DMX512.

Este elimina la necesidad de configuración de direcciones DMX pues establece una conexión directa con los dispositivos. Mientras DMX envía datos para todos los canales de un universo, ocupados o no, y no tiene manera de saber quién los recibe, ACN solo lo hace a los equipos que lo requieren ya que permite que estos se “identifiquen” previamente.

ACN se divide en 3 sub-protocolos:

- **Device Management Protocol (DMP):** Controla los parámetros de los dispositivos. La comunicación es directa y no tiene limitaciones de canales como sí los tiene DMX.
- **Device Description Language (DDL):** Permite a los dispositivos “declarar” sus parámetros de control. Elimina la necesidad de “fixture libraries”.
- **Session Data Transport (SDT):** Permite elegir qué tipo de transmisión utilizar, ya sea del tipo “confiable (reliable)” o “no confiable (unreliable)”, de acuerdo a las necesidades del sistema. DMX solo transmite en modo “no confiable”.

Este protocolo ha sido pensado no solo para el control de equipos de iluminación, sino también para que todos aquellos dispositivos en un mismo sistema se comuniquen entre sí.

ACN tardará al parecer algunos años más en implementarse de manera global, pues no existen aún suficientes equipos con soporte que posibiliten un sistema configurado únicamente con él.

Es por ello que si tiene proyectado configurar un nuevo sistema basado en la tecnología actual, pero que pueda convertirse a ACN en el futuro, es importante optar por soluciones con infraestructura Ethernet que permitan una transición más cómoda.

### CAPÍTULO 3

#### DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para diseñar el sistema de iluminación del edificio C del complejo Mc. Gregor es necesario primero hacer un estudio del lugar y ver toda el área que se quiere iluminar, con esto podemos escoger el tipo de iluminación que se va realizar; una vez identificado este parámetro, se puede proceder a la elección del tipo de luminarias así como sus respectivos excitadores.

Además son también importantes, la alimentación del sistema y el control y la comunicación del usuario con las luminarias a través de un controlador.

La alimentación del sistema se diseña en base al consumo total de este, es por eso que se debe tener conocimiento exacto del consumo de cada parte por separado, tanto del control como el de las luminarias, todo esto puede ser obtenido de las hojas técnicas de cada uno de los componentes presentadas por el fabricante.

Para el control y comunicación de las luminarias, se usará un microcontrolador que estará encargado de procesar y ejecutar las funciones que indique el usuario, para esto, dado que la mayoría de luminarias en el mercado vienen con protocolos de comunicación ya establecidos para su control, se debe manejar las luminarias a través de estos medios, y es por eso que el controlador convertirá estas funciones en un lenguaje entendible para las luminarias y así puedan cumplir su función.

El entorno para el usuario se diseñará de acuerdo a los efectos que puedan generar las luminarias, pudiendo ser numerosas, que para efectos de la tesis solo se diseñaran dos de ellas y esto se hará mediante el programa contenido en el microcontrolador.

### 3.1 OBJETIVOS

#### 3.1.1 Objetivo Principal

El objetivo de la presente tesis es el diseño de un sistema de Iluminación del área exterior del edificio C del complejo Mc. Gregor con un tipo específico de luminaria.

#### 3.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Diseñar un esquema de luminarias que cubra eficientemente toda el área requerida del edificio Mc. Gregor.
- 2) Diseño o selección de un excitador de potencia para las luminarias.
- 3) Diseñar mediante un microcontrolador las señales necesarias para el control de efectos de las luminarias, así como la interpretación de las funciones que asigne el usuario.
- 4) Diseño de una interfaz para el usuario adecuada constituido por un teclado y un visualizador.
- 5) Diseñar la fuente de alimentación del sistema de iluminación.

Para encarar el diseño se muestra el diagrama de bloques de la figura 3.1.

## Diagrama de bloques

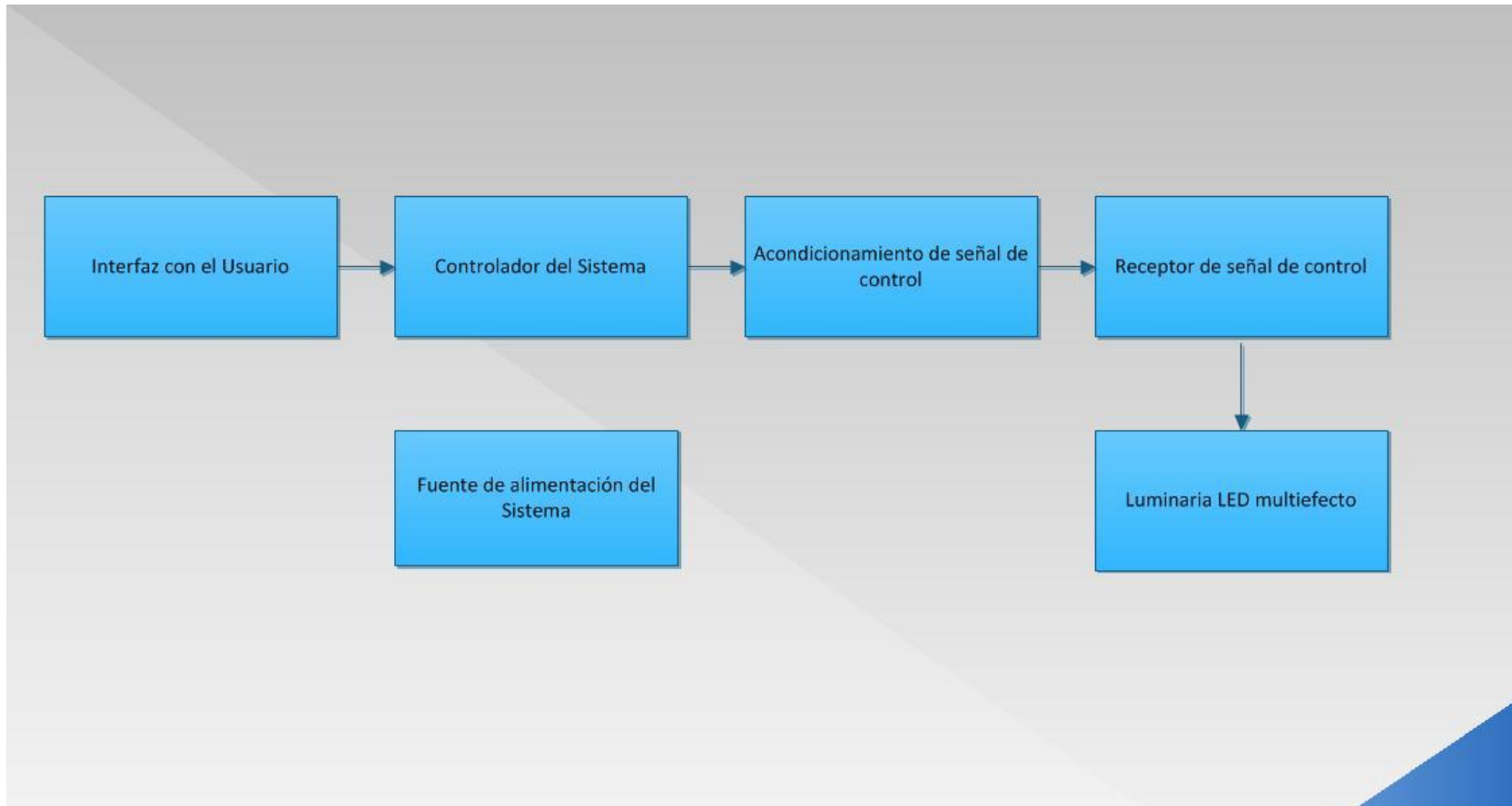


Figura 3.1



Solo el bloque del controlador del sistema contiene un programa de software. Primero desarrollaremos el hardware y finalizaremos con el software

### **3.2 Bloque Luminaria LED Multiefecto**

De los tipos de iluminación vistos en el capítulo anterior, la iluminación que vamos a emplear para el sistema es del tipo bañadora dirigida, puesto que el edificio C del complejo Mc Gregor tiene grandes bloques lisos de cemento en su estructura, siendo este tipo de iluminación el más vistoso para la edificación.

Con esta información, se debe obtener la cantidad e intensidad de luz necesaria para que la parte a iluminar se pueda apreciar de tal manera que no cueste trabajo ver los efectos de la iluminación o por el contrario que la luz nos resulte incómoda por haber sobrepasado el límite de deslumbramiento, que hace referencia a cuando la cantidad de luz es excesiva sobre algún objeto [20].

#### **3.2.1 Cálculos de luz requerida**

##### **Datos del diseño** [20]:

Los principales datos para facilitar el diseño de un proyecto de iluminación dirigida se enumeran a continuación:

1. Dibujo(s) en escala que muestre(n) el plano, las elevaciones y las principales muestras representativas de la estructura a iluminar. (figura 3.2)
2. Un dibujo que muestre en una vista de la planta, detalles de los alrededores inmediatos de la estructura (ej. Ubicación de otras estructuras, calles, caminos, árboles, etc.), y que indique la dirección de visión principal y las líneas del límite de la propiedad. (figura 3.3)
3. Información acerca del brillo de los alrededores contra los cuales se verá la estructura iluminada.
4. Fotografías a color, tomadas desde distintas direcciones de visión, de la estructura. (figura 3.3, figura 3.4)
5. Descripción de los materiales de revestimiento utilizados.

6. Información sobre la máxima carga instalada permitida para la iluminación dirigida.
7. Una breve descripción del edificio, dando su uso presente, su pasado histórico (si lo tuviera) y su significancia local. [20]

Para la iluminación de complejos con muchas variantes, los cálculos para la iluminación son realizados con software y programas especializados; para proyectos de iluminación que no tienen alto grado de complejidad con respecto a las variantes que presentan, sus cálculos pueden ser hechos manualmente mediante cualquiera de sus dos métodos para la iluminación.

### 3.2.2 Método de la intensidad luminosa [20]:

Determina el tipo de distribución de intensidad luminosa que debe tener el proyector o luminaria a emplear. Este método es empleado cuando se requiere que la luz llegue a grandes distancias (mayores a 80 metros para tener una idea).

Viene dado por la siguiente fórmula:

$$I_{\gamma} = \frac{Ep \times d^2}{\cos^3 \gamma} = \frac{Ep \times d^2}{\cos^3 \alpha \times \sin^3 \beta}$$

Dónde:

$Ep$ = iluminancia de la superficie sobre la fachada.

$d$ = distancia, en metros, del proyector o luminaria a la fachada.

$\gamma$  = ángulo en el cual el haz de luz incide sobre la fachada.

### 3.2.3 Método del lumen [20]:

Es apropiado para grandes fachadas, indica el número de proyectores necesarios para iluminar la fachada a un nivel específico, determinando la cantidad de luz requerida para iluminar de manera óptima el área deseada.

Viene dado por la siguiente fórmula:

$$\emptyset = \frac{A \times E}{n \times M}$$

Dónde:

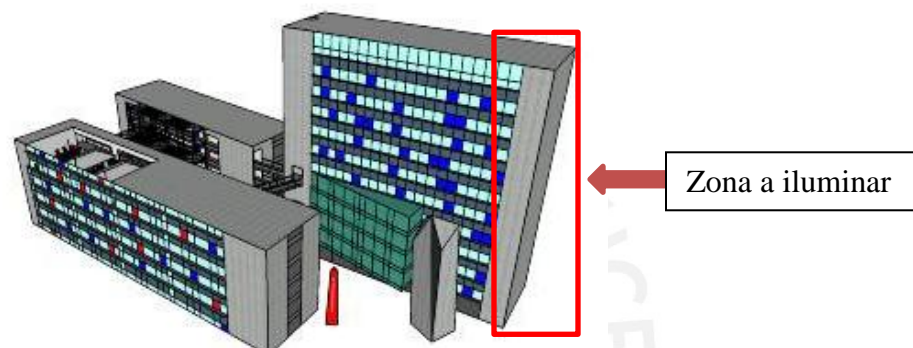
$A$ = área de superficie iluminada en metro cuadrado

$E$ = iluminancia deseada en Lux

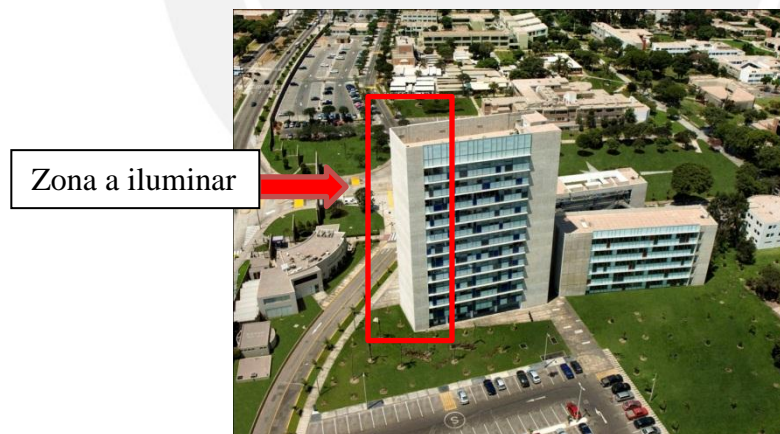
$n$ = Factor de utilización: indica que no todos los lúmenes contribuyen al nivel de iluminancia sobre la fachada: algunos se pierden dentro del proyector y algunos salen del proyector y no inciden sobre la superficie iluminada.

$M$ = Factor de mantenimiento: toma en cuenta la pérdida que ocurre después que el proyector ha estado en funcionamiento durante algún tiempo. Esta pérdida ocurre por el desgaste de la lámpara, acumulación de suciedad, etc.

### 3.2.4 Imágenes y dibujos del complejo Mc Gregor:



**Figura 3.2** Dibujo de la maqueta del complejo de edificios, mostrando la zona a iluminar.



**Figura 3.3** Vista de los alrededores del edificio, mostrando la cara a iluminar



**Figura 3.4** Edificio C del complejo Mc Gregor visto desde fuera de la universidad

### 3.2.5 Información sobre el edificio C del complejo Mc Gregor:

- Área a iluminar en el edificio Mc Gregor: 42metros de alto x 15metros de ancho.
- Se plantea colocar la fuente de luz a 10 metros de altura, puesto que la visibilidad del edificio desde afuera es percibida a esa altura.
- Tipo de material: Hormigón (concreto arquitectónico).
- Iluminancia=100 Lux (bien iluminado, concreto arquitectónico) (ver tabla3.1)
- Factor de utilización, se asume 0.8 como peor caso puesto que las luminarias estarán muy cerca al área a iluminar y serán muy pocas las pérdidas de flujo debidas a este factor.
- Factor de mantenimiento, por trabajar con la tecnología LED se toma una valor aproximado de 0.9 dado que una de sus prestancias es la gran durabilidad que poseen.
- Fuente de luz cercana al área a iluminar.
- El consumo de potencia del sistema de iluminación en comparación con el consumo total de todo el complejo es prácticamente despreciable.
- El edificio pertenece a un modelo arquitectónico del tipo Brutalista, que busca principalmente resaltar la forma de la estructura, y es por ello que se diseñará el sistema de iluminación para lograr resaltar la forma de la edificación durante la noche que es poco visible.[2]

**Tabla 3.1 Niveles de iluminación dirigida recomendados**

**CAMPOS DE APLICACION**

**Tabla 7.17 Niveles de Iluminación Dirigida Recomendados**

Material de la fachada	Iluminancia en lux			Coeficiente de corrección		Condición de la Superficie Sucia Limpia	
	Alrededores			Tipo de lámpara			
	Pobrememente iluminado	Bien iluminado	Con mucha iluminación	Mercurio	Sodio		
Piedra clara, mármol blanco	20	30	60	1,0	0,9	3,0	5,0
Piedra mediana, cemento, mármol de color claro	40	60	120	1,1	1,0	2,5	5,0
Piedra oscura, granito gris, mármol oscuro	100	150	300	1,0	1,1	2,0	3,0
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1,2	0,9	2,5	5,0
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1,2	0,9	2,0	4,0
Ladrillo marrón oscuro	55	80	160	1,3	1,0	2,0	4,0
Ladrillo rojo	100	150	300	1,3	1,0	2,0	3,0
Ladrillo oscuro	120	180	360	1,3	1,2	1,5	2,0
Concreto arquitectónico	60	100	200	1,3	1,2	1,5	2,0
Revestimiento de Aluminio							
Terminación natural	200	300	600	1,2	1,1	1,5	2,0
Terminación térmica de láca							
- saturada (10%)	120	180	360	1,3	1,1	1,5	2,0
- rojo, marrón, amarillo, azul, verde				1,0	1,3		
- mediana (30-40%)	40	60	120	1,2	1,0	2,0	4,0
- rojo, marrón, amarillo, azul, verde				1,0	1,2		
- pastel (60-70%)	20	30	60	1,1	1,0	3,0	5,0
- rojo, marrón, amarillo, azul, verde				1,0	1,1		

Elaboración [20]

**3.2.6 Cálculos:**

Por tratarse de la iluminación de una fachada emplearemos el método del lumen para la obtención de las características de la luminaria.

**Método del Lumen (Método 2)**

$$\Phi_{total} = \frac{A \times E}{n \times M}$$

$$\Phi_{total} = \frac{32 \times 15 \times 100}{0.8 \times 0.9}$$

$\Phi_{total} = 66666,67$  lúmenes.

Es el flujo total que deberá entregar el sistema para cumplir con las exigencias del proyecto.

Con este flujo se podrá escoger la luminaria con las características suficientes que abastecerán el sistema.

**3.2.7 Selección de la luminaria:**

Requerimientos:

- La suma total de los flujos de las luminarias escogidas deberá ser muy cercana a lo calculado. (el flujo en lúmenes de cada luminaria está dado por la fábrica, es por eso que el flujo total del sistema será lo más próximo posible al valor deseado).
- Tipo de luminaria: Bañador.
- Tipo de LED: RGB, para el uso de colores.

En el mercado se encontró los siguientes modelos de luminarias que cumplen con los requerimientos.

**LEDWALKER DMX Wallwasher (144 Watts):**

Es un bañador de pared de 144Watts y sus especificaciones se muestran a continuación en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Especificaciones técnicas de la luminaria LEDWALKER

**Specifications**

Parameters	Description
Model	LW-RGBF100-B144
Dimension	1000*160*100MM
Driver Installation	Built-in
Color Range	RGB/Red/Green/Blue/Amber/White/Warm White
LED	1 W ultra-high brightness LED 120 Lm each pcs
LED QTY	144
Voltage	110-230~(AC), 50Hz/60Hz
Control Mode	DMX512
LED Life	50,000 hours, based on LED manufacturers' test data
Housing	Aluminum / surface-oxidized processing / toughened glass
Temperature	-4°F to 122°F (-20°C to 50°C)
LED QTY	144

Elaboración [22]

**Efectos:** Selección de colores [22].

Cabe resaltar que el fabricante indica que puede iluminar hasta 60 metros de altura. Tiene un precio de 250 dólares en China (FOB) y envío de 150 dólares por cada pieza (Precios referenciales).

### STARVILLE LED BAR 126 RGB

Es un bañado de pared tipo proyector y sus especificaciones se muestran a continuación en la tabla 3.3:

**Tabla 3.3** Especificaciones técnicas de la luminaria STARVILLE

Lámpara	252 LEDs tipo RGB de 10 mm
Total canales DMX	11
Ángulo de radiación	20°
Alimentación	230 V ~ (AC), 50 Hz / 60 Hz
Consumo de energía	126W
Fusible	1 A / 250 V
Dimensiones (ancho x prof. x altura)	1100 mm x 114 mm x 161 mm
Peso	4,5 kg

Elaboración [21]

Tiene un precio de 550 euros en España (FOB) y envío de 140 dólares el envío por cada pieza. (Precios referenciales)

Los efectos que posee la luminaria se muestran en las tablas 3.4 a continuación:

**Tabla 3.4** Efectos realizados por la luminaria

Canal	Valor	Función
1	0...40	Oscurecer (blackout)
	41...80	Modo de 3 segmentos
	81...120	Modo de 1 segmento
	121...160	Efecto estroboscópico Regulación de velocidad vía canal 2
	161...200	Cambio entre colores Regulación de velocidad vía canal 2
	201...240	Cambio continuo entre colores Regulación de velocidad vía canal 2
	241...255	Cambio entre colores Regulación de velocidad vía canal 2
	2	241...255
3	0...255	Atenuador 1, rojo, continuo
4	0...255	Atenuador 1, verde, continuo
5	0...255	Atenuador 1, azul, continuo
6	0...255	Atenuador 2, rojo, continuo (modo de 3 segmentos)
7	0...255	Atenuador 2, verde, continuo (modo de 3 segmentos)
8	0...255	Atenuador 2, azul, continuo (modo de 3 segmentos)
9	0...255	Atenuador 3, rojo, continuo (modo de 1 segmento)
10	0...255	Atenuador 3, verde, continuo (modo de 1 segmento)
11	0...255	Atenuador 3, azul, continuo (modo de 1 segmento)

Elaboración [21]

### **3.2.8 Criterio de selección**

De acuerdo a los requerimientos vistos para la elección de la luminaria se obtiene que ambas luminarias cumplen con la función que se determine para la aplicación del sistema de iluminación.

Siendo más práctico y eficiente optar por la primera de las luminarias vistas por lo siguiente:

- Costo mucho más barato en comparación con la segunda luminaria.
- Mayor potencia de iluminación, consumo de 144 Watts.
- Flujo luminoso de 120lm por Watt, lo que hace 17280 lúmenes por luminaria y solo se necesitaría 4 de estas para poder iluminar el área requerida para la aplicación.
- Cantidad de efectos limitados, pero suficientes para la aplicación.
- Fácil instalación
- Fuente de alimentación de la red eléctrica 110-230 VAC
- Control mediante DMX protocolo de iluminación más comercial en el mercado, control no complejo.
- Receptor de la señal de control incluido dentro de la luminaria.

En conclusión, esta luminaria es más específica y tiene algunas aplicaciones menos, pero es justa para la aplicación que no requiere de tantos efectos como presenta la otra, ya que esta puede ser usada más para lo que escenografía refiere y además el costo es significativo entre ambas, lo que hace que la luminaria LED Walker sea más eficiente para el sistema porque se usará en su totalidad prácticamente y no se pagará demás por aplicaciones que tal vez no sean usadas por no entrar en el contexto de lo que el proyecto requiere. Recordar que la luminaria elegida se controla mediante el protocolo DMX 512.

### **3.3 Bloque Receptor de señal de control**

En este bloque con la elección de la luminaria se obtiene también el receptor de control para los efectos de iluminación puesto que este viene incluido con la luminaria.

#### **Características:**

- Protocolo de comunicación DMX512
- Fuente de alimentación 220 VAC
- Entrada mediante cable XLR



### 3.4 Bloque interfaz con el usuario

Requerimientos:

- Pantalla para visualizar los datos a mandar, que serán números para el control de efectos para la luminaria, además también para mostrar un menú para la selección de modo: manual y automático.
- Teclado para escritura de números a mandar para el control de luminaria (valores DMX).

#### 3.4.1 Visualizador [27]

Requerimientos:

Se pretende que el visualizador muestre mensajes como: ESCOJA MODO:

Este mensaje posee 12 caracteres por lo que para el visualizador bastará una pantalla LCD 16x2 simple (figura 3.5), la más comercial del mercado que no tiene un alto precio y es sencillo de manejar. Con ella se puede visualizar todos aquellos caracteres que posean código ASCII. Se muestra su distribución de pines en la tabla 3.6.



Figura 3.5

Tabla 3.6 Distribución de pines

PIN CONNECTIONS			
PIN	Symbol	Level	Function
1	VSS	—	GND(0V)
2	VDD	—	Supply Voltage for Logic(+5V)
3	V0	—	Power supply for LCD
4	RS	H/L	H: Data; L: Instruction Code
5	R/W	H/L	H: Read; L: Write
6	E	H/L	Enable Signal
7	DB0	H/L	Data Bus Line
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	
15	BL1	—	Backlight Power(+5V)
16	BL2	—	Backlight Power(0V)

Elaboración Fabricante

Se usarán solo 4 bits de datos para la escritura en la pantalla LCD 16x2. La pantalla solo se usará como visualizador para los datos que se desean mandar para el control de la luminaria.

### 3.4.2 Teclado

Requerimientos:

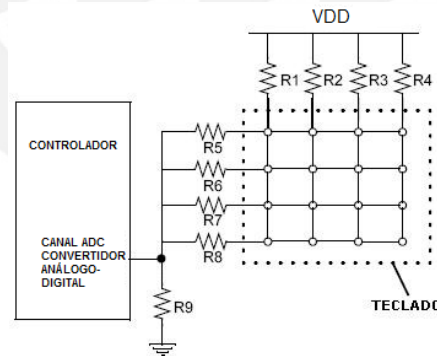
- Representar números de 0 a 9
- Pulsador para validar escritura (letra D)
- 2 Letras para escoger modos manual y automático.

Para el teclado del usuario se usará un teclado matricial simple 4x4 (figura 3.6), el más común en el mercado consta de 16 pulsadores relacionados en una matriz; tiene 8 pines 4 para filas y 4 para columnas además es de muy bajo precio.

Se empleará un ADC para el control del teclado matricial para reducir la cantidad de pines requeridos por el controlador (configuración en la figura 3.7).



**Figura 3.6** Teclado matricial 4x4 convencional



**Figura 3.7.** Configuración utilizada para el control del teclado

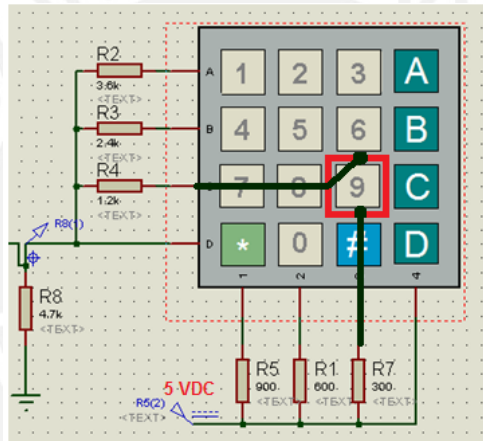
#### Diseño del teclado Matricial

Con el uso del ADC se logra controlar el teclado matricial 4x4 con un solo pin, ahorrando 3 pines del controlador. Esta configuración consiste en colocar un arreglo de resistencias con diferentes valores, y haciendo un divisor de voltaje a la entrada del convertidor analógico digital se asigna un valor diferente de voltaje a cada pulsador.

**Cálculo del arreglo de resistencias:**

Para el cálculo de resistencias, se tomó una resistencia de referencia R8 (figura3.8), la cual será comparada con un valor de resistencia variable brindada por el arreglo de resistencias en el diseño (figura3.10), este se irá incrementando de acuerdo al botón que sea pulsado; cada botón pulsado tiene un valor de resistencia asignado, de tal manera que este valor se compare con R8 y así dar un valor de voltaje diferente para cada pulsador. El valor de la resistencia de referencia R8 fue asumido con un valor de 4.7K, con este valor lo que se hizo fue que la resistencia variable proporcionada por el arreglo de resistencias no exceda a este valor y que se vaya incrementando proporcionalmente desde un valor de 0 hasta 4.5K al presionar cada una de las 16 teclas, lo que genera un aumento de 300Ω en 300Ω.

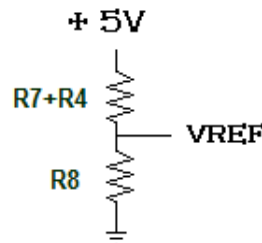
**Ejemplo de cálculo carácter ‘9’**



**Figura 3.8** Ejemplo de cálculo para el pulsador 9

En la figura 3.8, si se presiona el pulsador 9, la resistencia de referencia R8 se compara con la suma de las resistencias R7 + R4, dado que el pulsador hará que se cierre el circuito siguiendo el camino verde.

El circuito quedaría como se observa en la figura 3.9.



**Figura 3.9** Divisor de voltaje obtenido

Como  $R8 = 4.7K\Omega$ ,  $R7 + R4 = 1.5k\Omega$  y  $VREF = V_9$

Se obtiene por divisor de voltaje:

$$V_9 = V_{cc} \times \frac{R8}{R8 + R7 + R4} = 5x \frac{4.7k}{6.2k} = 3.79V$$

Este voltaje de referencia entra al ADC de controlador que puede ser mayor a 8 bits y que se toma de 10 bits para tener mayor rango de protección.

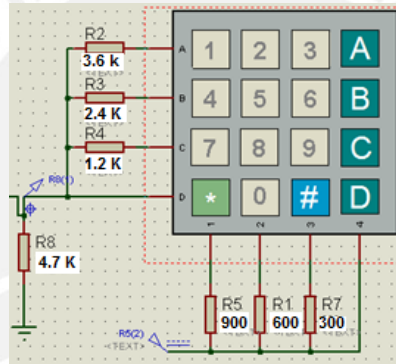
El valor en digital calculado es:

$$Valor\ digital = V_9 \times LSB = 3.79x \frac{1023}{5}$$

Resolviendo:

$$valor\ digital = 775$$

En la figura 3.10 se muestra la configuración tomada con los valores de resistencias asignados para este diseño, y en la tabla 3.7 se muestran los caracteres, sus valores de voltaje asignados y su valor después de ser convertido a digital.



**Figura 3.10**

**Tabla 3.7** Valores de voltaje y valores digitales calculados

Caracteres	Valores ADC	Voltaje Asignado
1	523	2.55
2	540	2.64
3	559	2.73
A	579	2.83
4	601	2.93
5	624	3.05
6	650	3.17
B	677	3.31
7	707	3.45
8	740	3.61
9	775	3.78
C	815	3.98
*	858	4.19
0	907	4.43
#	961	4.69
D	1023	5

(Elaboración propia)

### 3.5 Bloque control del Sistema

#### 3.5.1 Hardware

##### 3.5.1.1 Selección del Microcontrolador

Requerimientos:

- Cumplir con velocidades establecidas por el protocolo DMX, tomando la instrucción más rápida que debe realizar como referencia (un de pulso 3.92 us), lo que requiere una frecuencia de reloj de al menos 256kHz para generar la trama DMX.
- Frecuencia de reloj externa con cristal de cuarzo para mayor estabilidad.
- Un ADC de 10 bits para el control del teclado matricial.
- 7 pines de control de la Pantalla LCD 16x2
- 1 pin para la generación de la señal DMX
- 4 pines de resguardo por si en el futuro se necesita agregar alguna aplicación.
- 1 pin de Reset.
- Bajo costo dados los requerimientos anteriores.

Alternativas de solución [16, 21]

Tabla 3.8. Análisis Comparativo de Microcontroladores

Microcontrolador	PIC18F452	Atmega8L
Cantidad de pines	40	28
Alimentación	2 – 5.5 VDC	2.7-5.5 VDC
Frecuencia de oscilación	0 – 40 MHz	0-16 MHz
Memoria Flash	32Kbytes	8Kbytes
Interrupciones Externas	3 pines	2 pines
Convertidor Analógico-digital	8 pines	8pines
Comunicación Serial	UART / SPI /PSP/ I2C	UART / SPI /I2C
Costo (\$/.)	19	15

(Elaboración propia)

- Del planteamiento anterior ambas opciones cumplen con los requerimientos, se escoge el pic18f452, puesto que no es costoso y además se está más familiarizado con él.
- Para el microcontrolador se empleará un reloj externo de cristal de cuarzo que proporcionará una mayor estabilidad a la frecuencia de oscilación de este.
- La trama DMX como fue visto en el capítulo 2 contiene dos señales una positiva y otra negativa (simétricamente), es por esto que a la salida del microcontrolador que enviará la señal DMX de control se le tiene que adecuar para que cumpla con lo mencionado. Se colocará dos amplificadores operacionales en **modo comparador** a la salida del microcontrolador con el fin de obtener las dos señales tanto la positiva como la negativa.

### 3.5.1.2 Generación de las tramas DMX+ y DMX- :

Requerimientos:

- Amplificadores operacionales con fuente de alimentación dual o integrado max485.
- Slew Rate mayor igual a 10V/us, para que pueda captar el pulso más rápido entregado por el microcontrolador que es de 4us.

En la tabla 3.9 se comparan tres amplificadores operacionales con estos dos parámetros [24, 25, 26].

**Tabla 3.9** Comparación de amplificadores operacionales

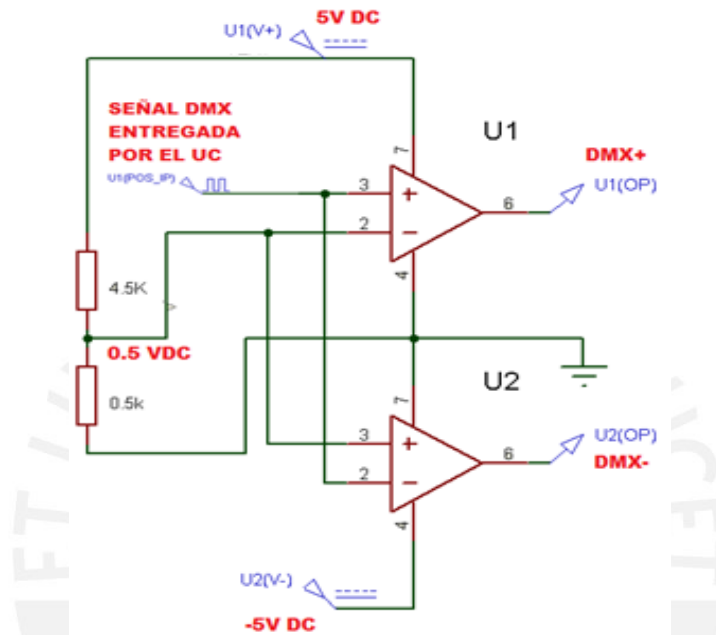
OP AMP	LM741	SSM2143	OPA541
Alimentación	±18V	±18V	±40V
Slew Rate	0.5 V/us	10V/us	10V/us
Máximo ancho de banda	0.4 Mhz	7 Mhz	5 Mhz
Costo	\$0.5	\$3.99	\$22

(Elaboración Propia)

De la comparación anterior de se escoge el amplificador operacional SSM2143, puesto que cumple con todos los requerimientos exigidos por el sistema, el amplificador operacional OPA541 también cumple con los requerimientos pero es mucho más costoso, el integrado max485 cumple también con las especificaciones y tiene un valor de 4.5 dólares, no lo usaré en este caso porque su control es un poco más complejo (transmisión y recepción juntas sobre una mismo bus de datos) y dado que la aplicación es sencilla, lo

más simple es usar un par de amplificadores operacionales y generar las tramas requeridas usándolos en modo comparador, además la distancia de cableado no es más de 10 metros, por lo que no es indispensable usar un max485 que una de sus principales prestaciones es el largo alcance para su cableado(hasta 300 metros).

En la figura 3.11 se muestra el esquema desarrollado para obtener las tramas positiva y negativa DMX.



**Figura 3.11** Configuración en modo comparador a la salida de microcontrolador

### 3.5.2 Software

El programa del controlador, proporcionará una interfaz para el usuario en el cual se guiará de tal manera que pueda escoger entre dos modos posibles dentro del entorno: Modo automático y Modo Manual.

#### **Modo Automático:**

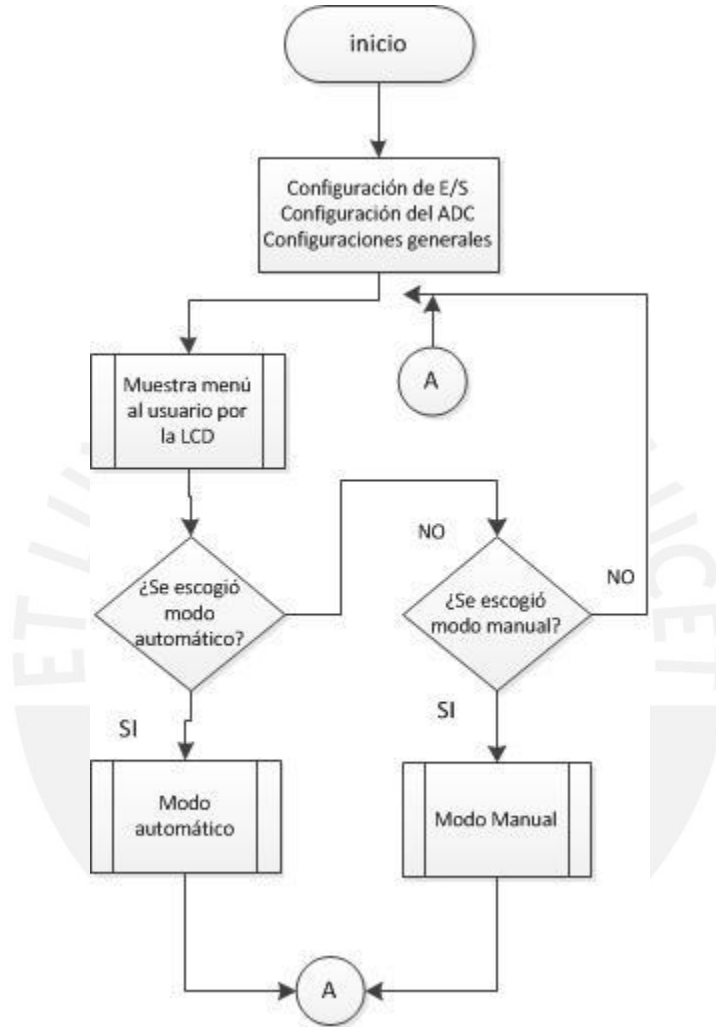
Se mandará la trama DMX que haga un barrido de colores, mandando valores entre 0 a 255, estos valores serán entramados por el microcontrolador y cada uno de estos representa a un color determinado.

#### **Modo Manual:**

El usuario podrá escoger valores entre 0 y 255, cada valor representa un color, es decir en este modo el usuario podrá escoger el color que el desee.

Finalmente se tiene un pulsador que reinicia el sistema para volver a empezar con la configuración.

A continuación se presenta el diagrama de flujo principal de la programación del controlador. (Figura 3.9)

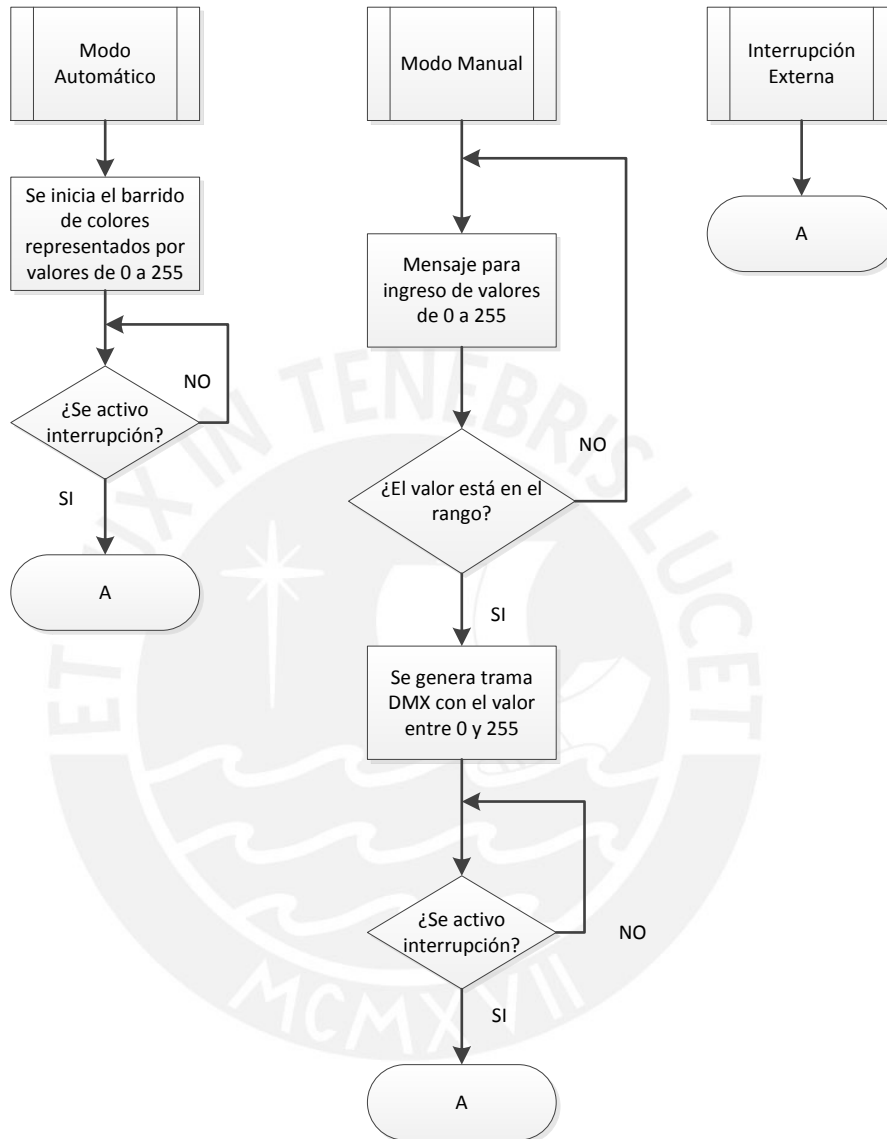


**Figura 3.9** Diagrama de flujo principal

En el diagrama dependiendo del modo que el usuario escoge, manual o automático, se queda haciéndolo hasta que se presione el pulsador de interrupción externa que sale del modo escogido y vuelve al punto A.



En la figura 3.10 se muestran los diagramas de flujo de las subrutinas modo manual, modo automático e interrupción externa.



**Figura 3.10** Diagramas de flujos de las subrutinas principales

### 3.6 Fuente de alimentación para el control del sistema

En la tabla 3.10 se muestran los requerimientos de corriente del sistema todas provenientes de una fuente de 5V y la del amplificador operacional que adicionalmente requiere -5V

**Tabla 3.10** Requerimientos de corriente del sistema

	Especificación	Cantidad Requerida (corriente)	Unidad
Teclado Matricial	1 botón a la vez	10	mA
Pantalla LCD 16x2, modelo LCD-016M002B	7 pines de control	1.2	mA
	Back Light LED	40	mA
Microntrolador	consumo 4Mhz@5V	1.6	mA
	Consumo Max. de E/S(una entrada)	20	mA
Amplificador Operacional	dos amplificadores operacionales con alto Slew Rate (10V/us)(±5V)	50	mA
	<b>Consumo Total de Corriente</b>	122.8	mA

(Elaboración propia)

Se colocará como requerimiento de la fuente 500mA para tener un margen de potencia. Se hará el diseño para la fuente de 5V, y el diseño de la fuente de -5V es idéntica.

**Requerimientos de la fuente:**

$$V_{c(DC)} = 5V + 2.5V = 7.5 V$$

$$V_{rip} = 2V$$

$$I_o = 0.5 A$$

$$f = 60 Hz$$

Cálculos:

Usando la ecuación (8.1) del manual en el anexo 2:

$$n = \frac{V_{rip}}{2\sqrt{2} \times V_{c(DC)}} \times 100\% = \frac{2}{2\sqrt{2} \times 7.5} \times 100\% = 9.42\%$$

Se asume un valor de  $R_s = 1.4\Omega$  medido experimentalmente.

De la figura 8.5 del manual del manual en el anexo 2  $wCR_L = 7 a 15$

Se toma un valor de  $wCR_L = 10$ .

$$R_L = \frac{V_{c(DC)}}{I_o} = 15\Omega$$

$$R_s/R_L = 9.3\%$$

De la figura 8.3 del manual del anexo 2 se halla la siguiente relación:

$$\frac{V_{c(DC)}}{V_m} = \frac{7.5}{V_m} = 0.75 = 75\%$$

$$V_m = 10 V$$

De la ecuación 8.2 del anexo 2, se encuentra el filtro capacitivo:

$$C = \frac{wCR_L}{2\pi f \left(\frac{V_{c(DC)}}{I_o}\right)} = \frac{10}{2\pi \times 60 \times 15} = 1768.3\mu F$$

Especificaciones para los diodos rectificadores:

$$I_{F(av)} = \frac{I_o}{2} = 0.25 A$$

$$I_{F(rms)} = 2 \times I_{F(av)} = 0.5 A$$

$$I_{Fpeak} = 5.2 \times I_{F(av)} = 1.3$$

$$PIV = V_m = 10 V$$

*(se usará mínimo 20 V por seguridad)*

El transformador tendrá las siguientes especificaciones:

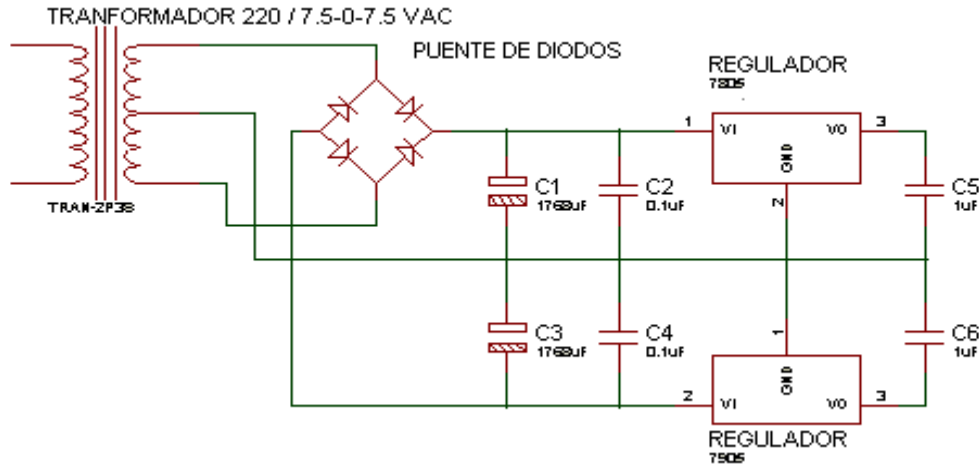
$$V_s = \frac{(V_m + n \times 1)}{\sqrt{2}} = \frac{10 + 2}{\sqrt{2}} = 8.51 V_{rms}$$

$$I_{rms(s)} = \sqrt{2} \times 0.5 = 0.71 A$$

$$S = V_s \times I_{rms(s)} \times \sqrt{2} = 8.51 VA$$

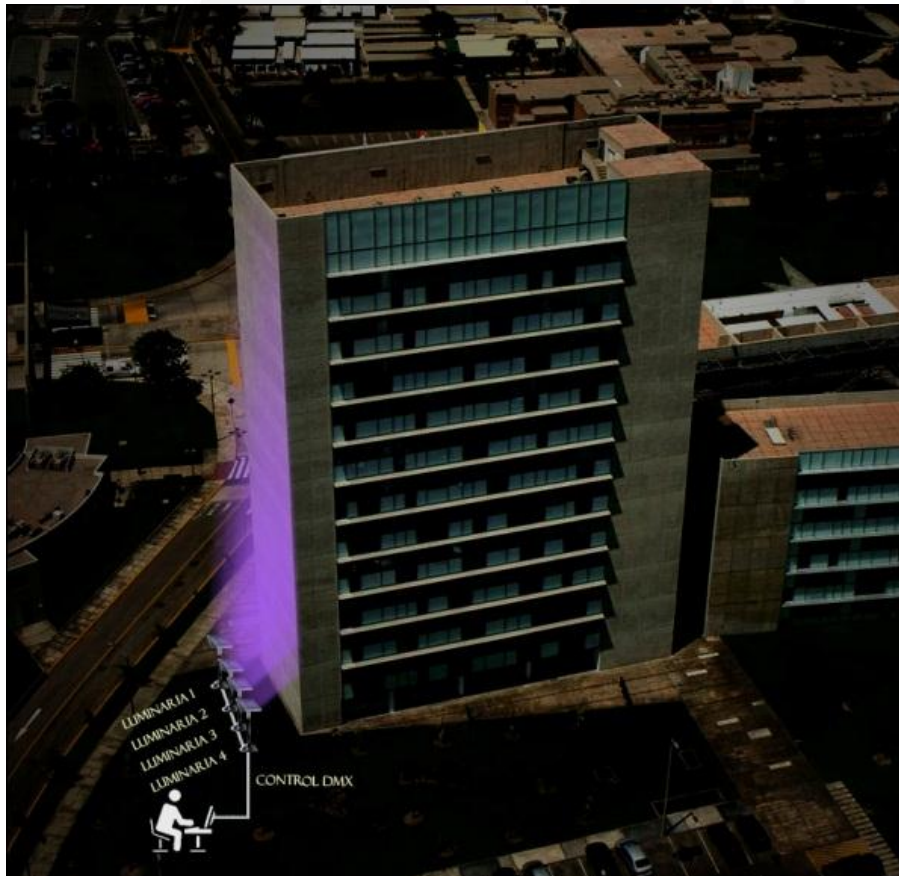
A la salida de la fuente calculada se conectarán dos reguladores, el LM7805 para obtener 5V DC y el LM7905 para obtener -5V DC ya que necesitamos la fuente negativa para poder lograr la trama DMX que se obtendrá finalmente a la salida de los amplificadores operacionales en modo comparador.

Se muestra el esquemático de la fuente calculada (figura 3.11):



**Figura 3.11** Esquemático de la fuente de alimentación del sistema

De los diseños vistos previamente en el desarrollo del capítulo, se presenta el esquema de luminarias con el sistema de control y el interfaz del usuario en la figura 3.12 a continuación:



**Figura 3.12**

### 3.6 Presupuesto del Desarrollo del Sistema

Finalmente, se muestra el presupuesto total del sistema de iluminación planteado en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Presupuesto del sistema diseñado

Item	Descripción	Cant.	Precio USD	
			Precio Unitario	Precio Total
1	Microntrolador Pic18f452	1	7	7
2	Amplificador operacional SSM2143	2	3.99	7.98
3	Luminaria LED WALKER 144 Watts	4	400	1600
4	LCD 16x2	1	5	5
5	Teclado Matricial	1	5	5
6	Fuente de alimentación			
6.1	Transformador de 0.5 A con toma central	1	5	5
6.2	Regulador de voltaje	2	1	2
6.3	Condensador 2000 uF	2	2	4
7	Componentes varios	1	5	5
8	Instalación de la estructura metálica	1	1,000.00	1000
9	Instalación del sistema eléctrico	1	1,000.00	1000
10	Mano de obra	1	5,500.00	5500
11	Gastos diversos	1	150	150
			<b>SUB. TOTAL USD</b>	<b>9,290.98</b>
			<b>IGV 18% USD</b>	<b>1,672.38</b>
			<b>TOTAL USD</b>	<b>10963.36</b>

(Elaboración propia)

## CAPÍTULO 4

### SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para la presente tesis como ya se ha visto en el capítulo anterior, se programó un microcontrolador de la marca microchip modelo 18f452, para su programación se usó el compilador PIC C compiler CCS PCW, que convierte código en lenguaje C a lenguaje máquina. Para la simulación de cada etapa del diseño se usó el software ISIS Proteus, este software es muy amigable y se puede trabajar de manera muy ordenada además de obtener simulaciones muy aceptables.

#### **4.1 Descripción del Programa**

El código de la programación se encuentra documentado en el anexo 1, este describe y desarrolla todas las funciones del sistema de iluminación. Específicamente, este controla un teclado matricial mediante un canal ADC, controla la escritura y muestra de mensajes por una pantalla LCD 16x2, y además genera la trama de la señal DMX que el usuario escoge por medio de la interfaz antes descrita sea en modo automático o en modo manual. A continuación se muestran todas las simulaciones realizadas parte por parte del controlador.

#### **4.2 Simulaciones**

Se mostrarán las siguientes simulaciones:

- Interfaz con el usuario
- Señal DMX
- Sistema de control completo

##### **4.2.1 Interfaz con el usuario**

#### **ADC con el teclado matricial y Pantalla LCD 16x2**

Se mostrarán imágenes del desarrollo de la interfaz con el usuario que se creó, poniendo estas de manera consecutivas y así pueda verse el recorrido de este interfaz, para así entender en que consiste el sistema que se explicó en el capítulo anterior.

En la figura 4.1 el controlador pide escoger el modo en el cual se desea trabajar.

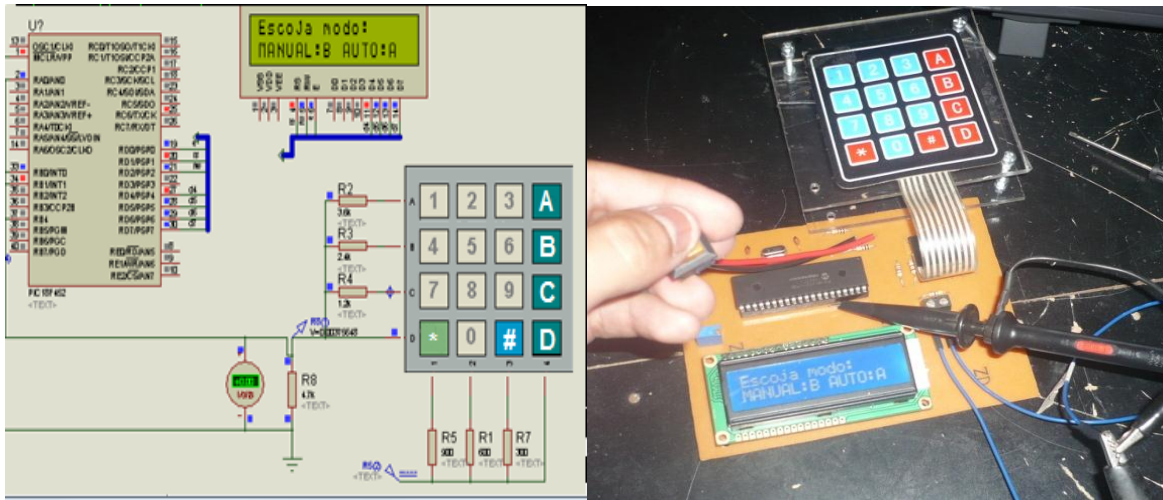


Figura 4.1 Gráfica “Escoja Modo”

En la figura 4.2 se presiona el pulsador A que acontece al modo automático y se muestra por pantalla donde el controlador pide la validación presionando la letra D

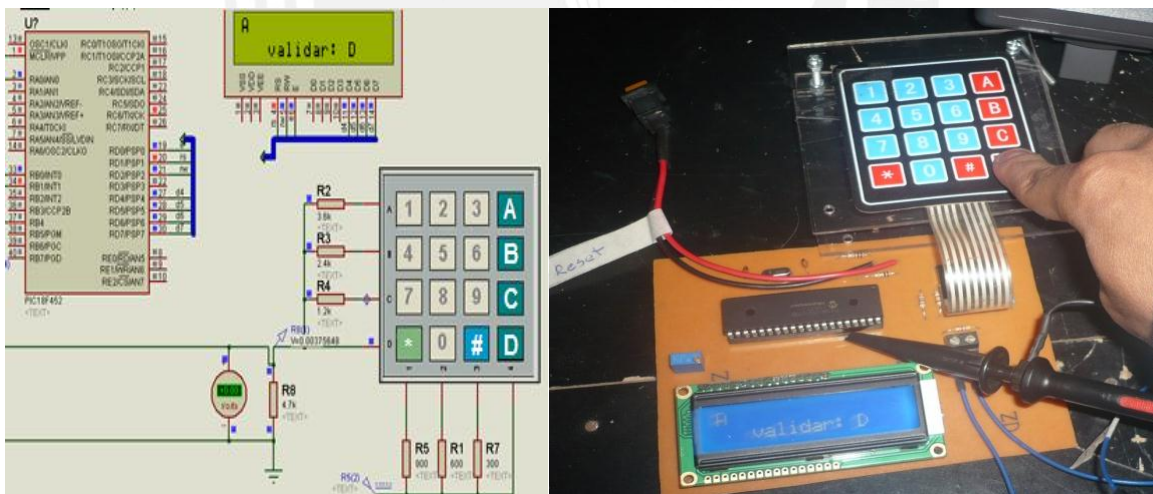


Figura 4.2 Gráfica de selección de modo

En la figura 4.3 se muestra un mensaje mostrando que se escogió el modo automático que fue validado en los pasos previos.

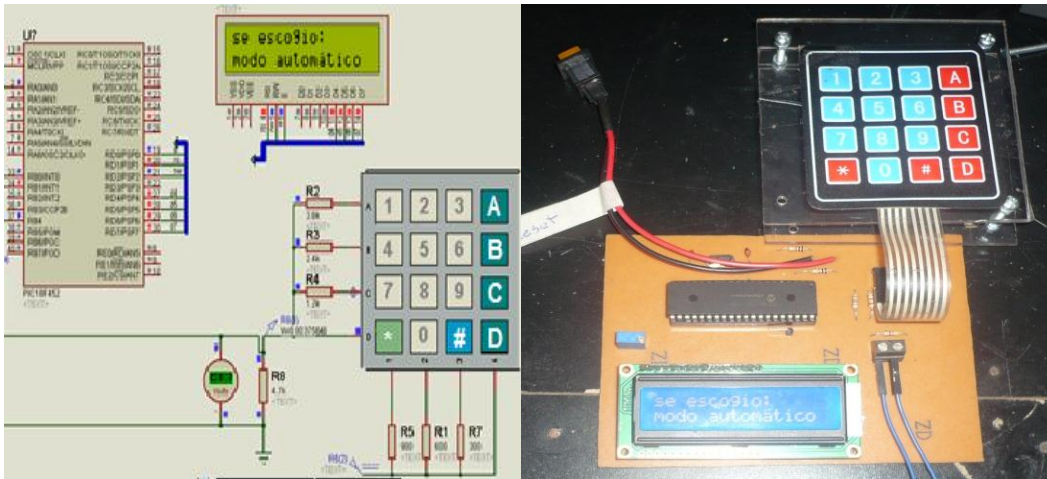


Figura 4.3 Gráfica Final de selección de modo

En la figura 4.4 se muestra el mensaje de “Selección incorrecta” cuando no se ingresan los parámetros correctos para el controlador.

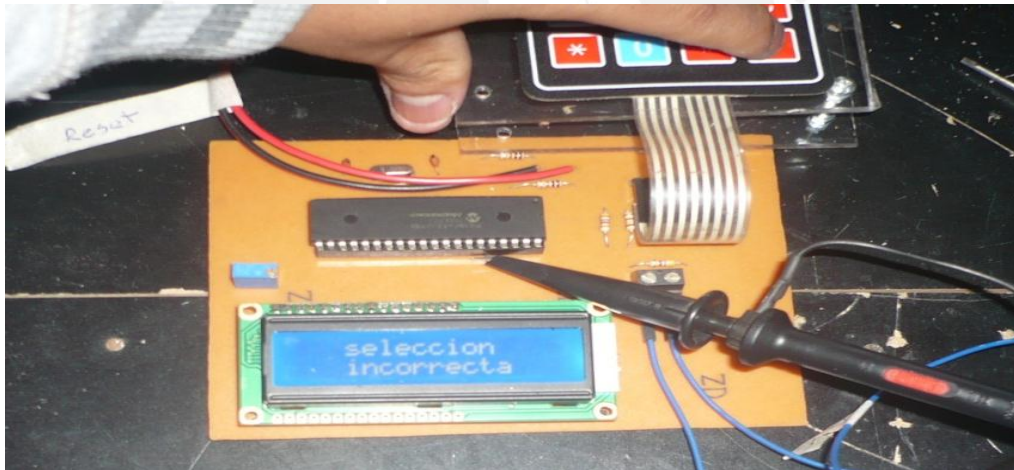


Figura 4.4 Prueba física del mensaje de “selección incorrecta”

#### 4.2.2 Señal DMX

Se mostrará la trama de la señal DMX indicando cada uno de sus bits de control y datos, para esto se mostrarán dos valores de la señal entre 0 y 255.

Además se mostrará la señal final de control DMX a la salida de los amplificadores operacionales para ver la trama negativa.

Para facilitar la lectura se ha escalado la trama multiplicándola por un factor igual a 1000.



La figura 4.5 y la figura 4.5.1 muestra la trama DMX 512 generada por el microcontrolador (antes de pasar por los amplificadores operacionales en modo comparador), esta trama lleva el dato con el valor de 0, la trama empieza en la primera línea verde y termina en la última.

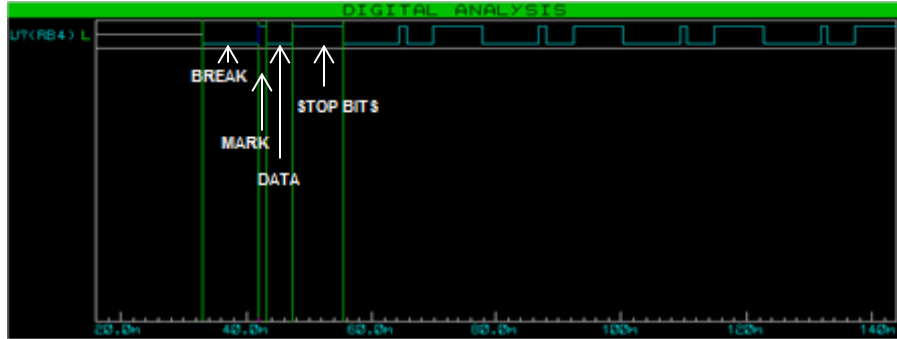


Figura 4.5 Señal DMX representando el valor 0 en modo manual

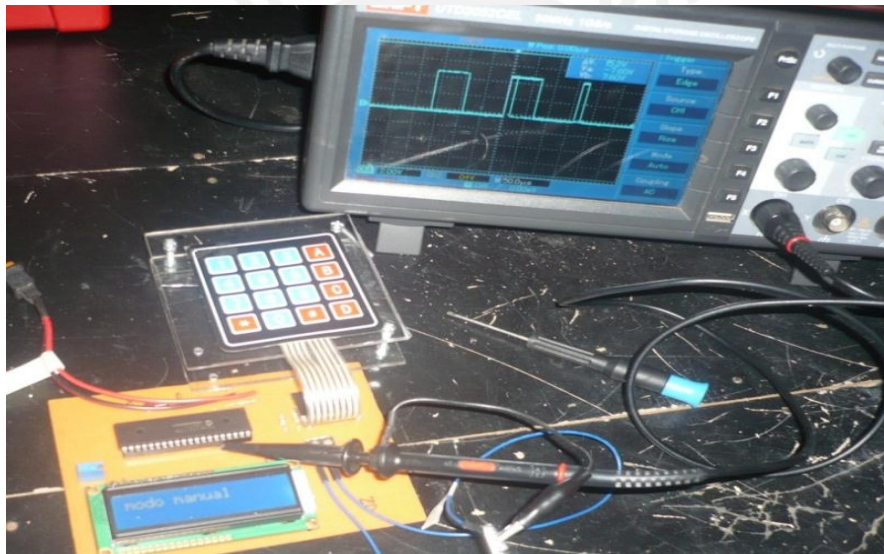


Figura 4.5.1 Prueba física de la trama.

A modo de comprobar que se cumpla la trama, se presenta la siguiente tabla de tiempos (Tabla 4.1).

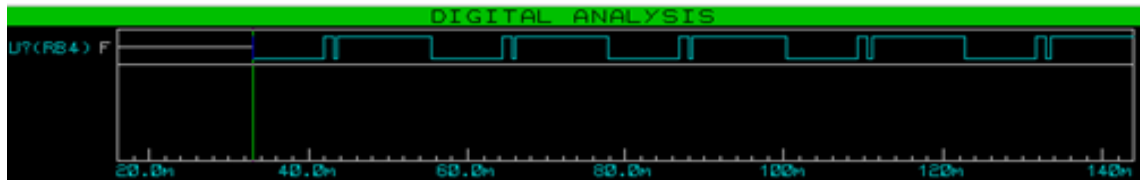
Tabla 4.1 Tabla de tiempos de la señal escalada por 100

	TIEMPO	ESTADO
BREAK	9 mseg	BAJO
MARK DESPUÉS DEL BREAK	1.2 mseg	ALTO
START	0.4 mseg	BAJO
DATA POR BIT	0.5 mseg	VARIABLE
BITS DE STOP (2)	8 mseg	ALTO

(Elaboración propia)

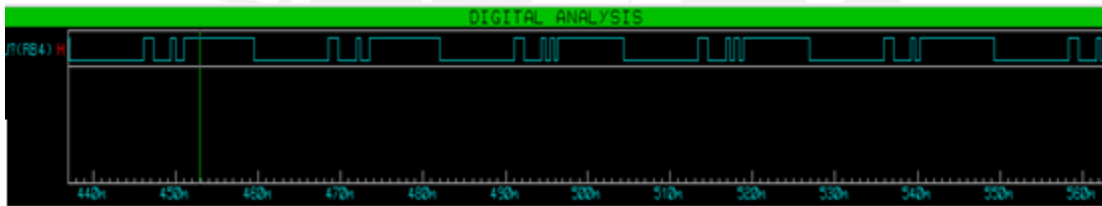
Donde efectivamente se puede comprobar que los rangos exigidos por el protocolo DMX 512 se cumplen en cada uno de los bits de la trama (escalada a 100).

En la figura 4.6 se observa la señal de la trama DMX512 generada por el microcontrolador enviando el valor de 255.

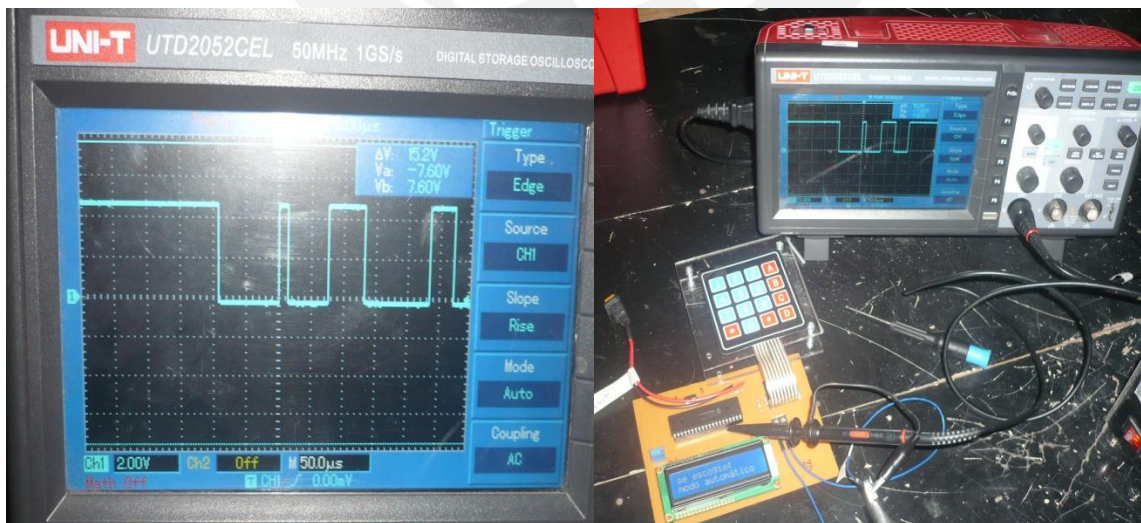


**Figura 4.6** Señal DMX representando el valor de 255

En la figura 4.7 y en la figura 4.7.1 se muestra una porción de la trama de la secuencia automática generada por el microcontrolador que va incrementando de uno en uno el valor DMX desde 0 hasta 255 y se repite una vez que pasa de este límite.



**Figura 4.7** Señal DMX del algoritmo en modo automático



**Figura 4.7.1** Prueba física de la trama en modo automático

En la figura 4.8 se muestra la trama DMX completa tanto DMX+ y DMX- (a la salida de los amplificadores operacionales), esta trama representa el valor 0, y como se puede observar en la tabla 4.2, la trama cumple con los parámetros del protocolo DMX 512, esta señal está lista para ser mandada por el cable XLR.

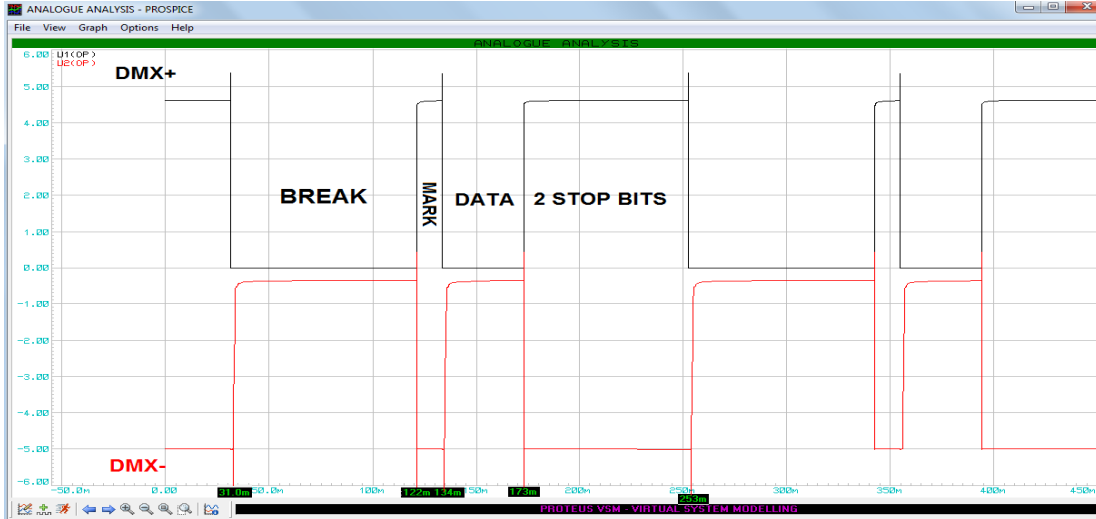


Figura 4.8 Señal DMX final lista para ser enviada.

Tabla 4.1 Tabla de tiempos de la señal escalada por 1000

	TIEMPO	ESTADO
BREAK	90 mseg	BAJO
MARK DESPUÉS DEL BREAK	12 mseg	ALTO
START	4 mseg	BAJO
DATA POR BIT	5 mseg	VARIABLE
BITS DE STOP (2)	80 mseg	ALTO

(Elaboración propia).

Cabe resaltar, que la señal está escalada por un valor de 1000 para poder observar mejor la señal en la simulación, el programa del microcontrolador se encuentra con los valores reales

#### 4.2.3 Sistema de control completo

Se mostrarán imágenes de un ejemplo del sistema funcionando en el simulador ISIS PROTEUS con interfaz del usuario y la señal de control DMX final lista para ser enviada por el cable XLR.

En la figura 4.9 se muestra el sistema completo funcionando, pidiendo que se escoja entre modo manual o automático.

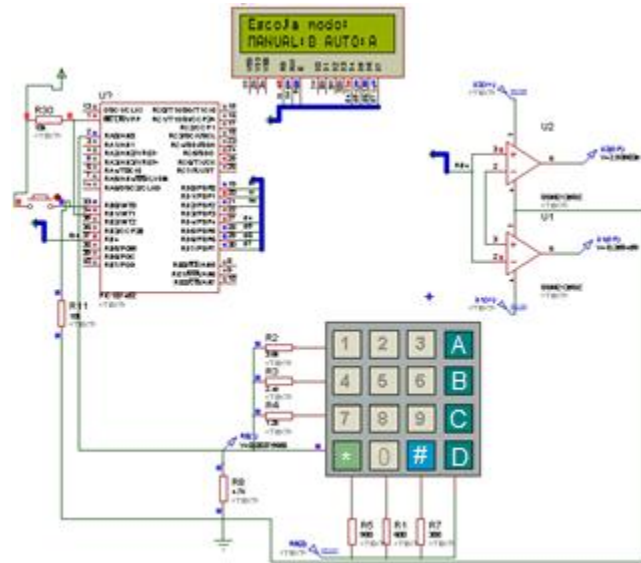


Figura 4.9 Gráfica 1 del simulador

En la figura 4.10 se muestra que se escogió modo manual dado que se ve el carácter 'B' por la pantalla LCD y pide validar.

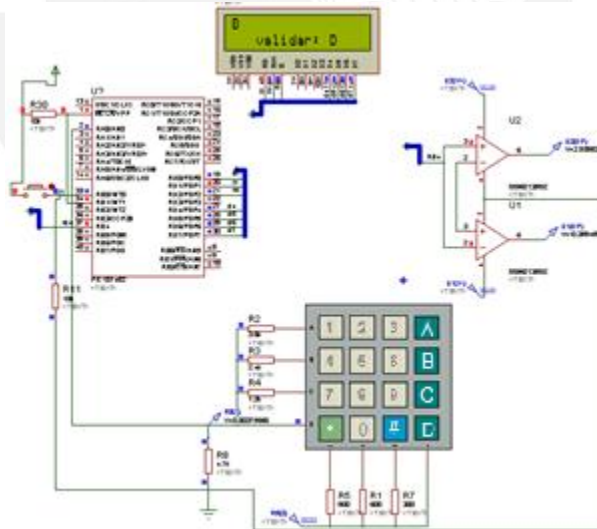


Figura 4.10 Gráfica 2 del simulador

En la figura 4.11 el controlador pide ingresar un valor DMX entre 0 y 255 (que para este caso serían colores).

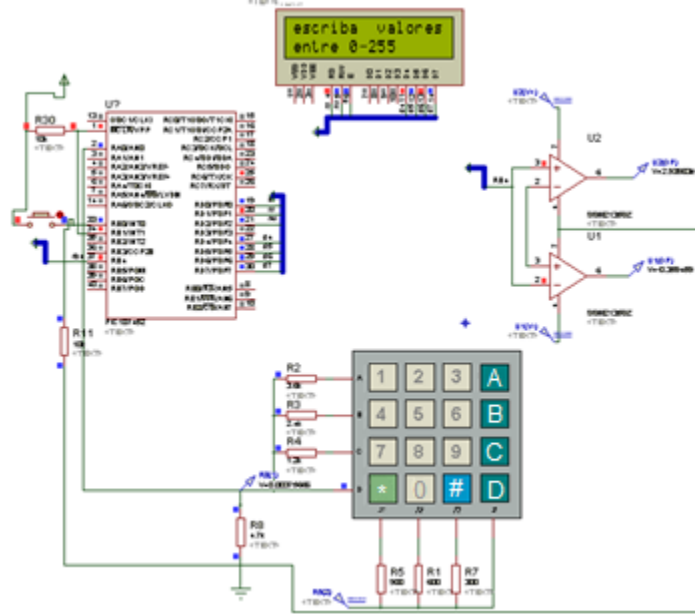


Figura 4.11 Gráfica 3 del simulador

En la figura 4.12 se escribe el valor 0 y el controlador pide validar

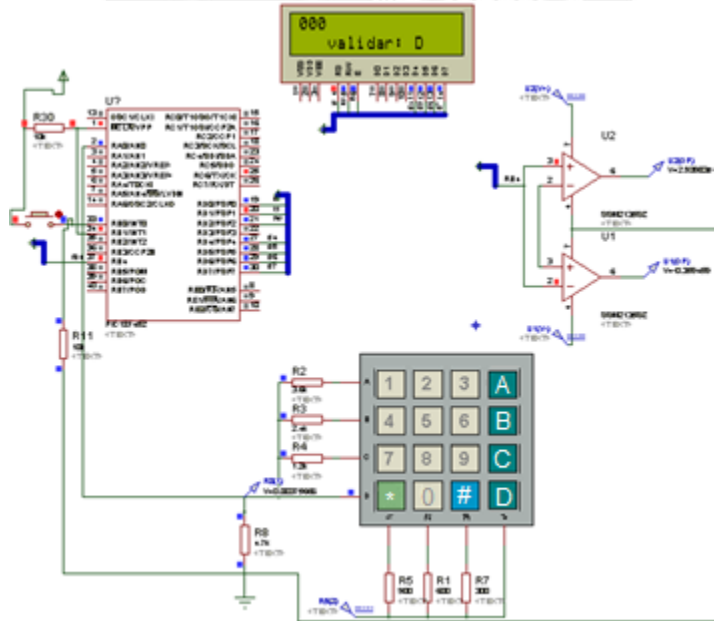


Figura 4.12 Gráfica 4 del simulador

En la figura 4.13 se muestra la señal final DMX generada con el valor 0 escogido en la figura 4.12.

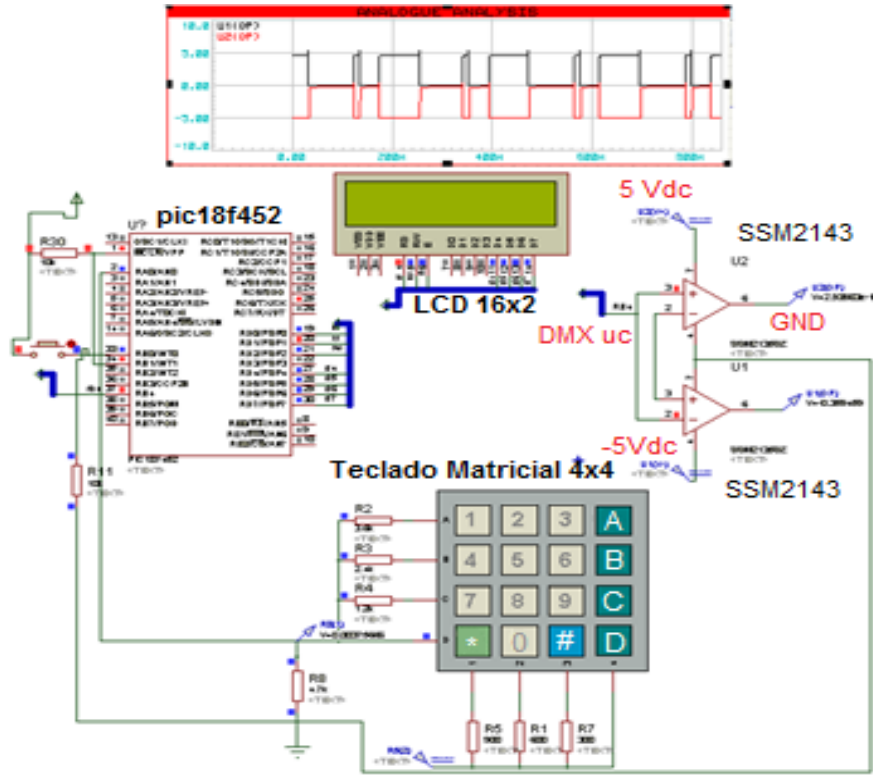
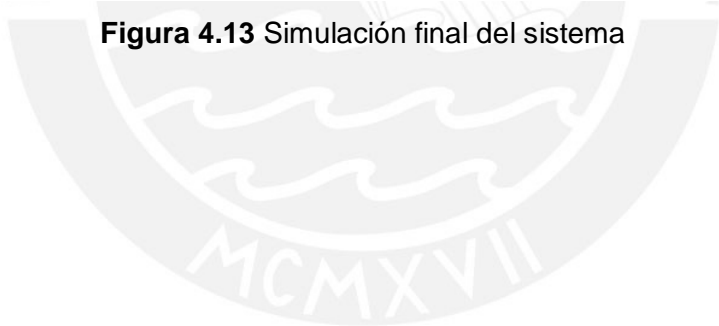


Figura 4.13 Simulación final del sistema



## Conclusiones

Las conclusiones que serán expuestas a continuación están basadas netamente en los objetivos de la tesis.

1. Para el cálculo de luminarias se usó el manual de iluminación de la compañía PHILLIPS, con el cual se calculó que para cubrir con la iluminación adecuada la cara lateral del edificio C del complejo Mc Gregor se necesitan 66666 lúmenes, por lo que se escogió una luminaria de 17280 lúmenes, y se emplearán 4 de estas para cubrir el requerimiento. Con esta elección se logró cumplir con el objetivo del diseño del esquema de luminarias.
2. Con la elección de la luminaria adecuada, se encontró que esta se alimenta con 110/220 VAC y que es controlada mediante un protocolo de comunicación específico para iluminación llamado DMX 512; se logró a través de la hoja de datos de la luminaria encontrar todos sus parámetros para que el microcontrolador pueda controlarla. Con esto se logró cumplir con el objetivo de la selección del excitador de la luminaria.
3. Mediante un microcontrolador se generó la trama DMX y posteriormente mediante amplificadores operacionales se generó la trama DMX+ y DMX- requerida por el protocolo, de manera que se logró alcanzar el objetivo de la generación de las señales de control para las luminarias, además el microcontrolador interpreta los valores que el usuario configura los manda hacia la luminaria para el control de esta.
4. Se creó una interfaz para el usuario de tal manera que sea sencillo controlar el sistema de iluminación del edificio C del complejo Mc Gregor, el interfaz cumple con los requerimientos del objetivo planteado en el capítulo 3.
5. Se diseñó la fuente de alimentación del sistema de  $\pm 5$  VDC cubriendo todos los requerimientos exigidos por el sistema.
6. Si bien el alcance de la tesis es el diseño del sistema de iluminación, se ha logrado implementar y realizar ensayos sobre varias varios bloques de esta que se mostraron en el capítulo 4.

Todos los objetivos trazados en el capítulo 3 fueron cubiertos de tal manera que en los ensayos físicos y en las simulaciones se pueden observar los resultados positivos.

## Recomendaciones

- Para una posible implementación del sistema, se requiere de varias pruebas físicas en la zona donde este sería implementado, dado que la señal DMX no es inmune al ruido y no posee realimentación, se podría perder información de la señal de control y no se obtendría un funcionamiento adecuado.
- Para la instalación del sistema es necesario cumplir con las normas técnicas peruanas establecidas por ley, puesto que esto ayudaría a llevar un mejor control y se podría dar mantenimiento fácilmente al sistema, además de evitar accidentes ya que el usuario del sistema no necesariamente sabe de electricidad.
- La instalación del sistema de ser implementado, debería cumplir con grados de protección como los son el IP (contra polvo y agua) y el IK (contra golpes).
- Trabajar con tecnología LED nos brinda grandes beneficios, desde el consumo hasta el manejo de la iluminación para futuros proyectos, se debe considerar a esta tecnología con suma importancia ya que es el futuro de los que iluminación respecta.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Philips Lighting. *Catálogo de iluminación: "Solid State of the Art" Version 1.0 –2009.*
- [2] Derek Phillips. *Lighting Modern Buildings.* Architectural Press, 1ra edición, 2000.
- [3] Electrónica Magnabit, "La Tecnología LED".  
<[www.electronicamagnabit.com/Informacion.htm](http://www.electronicamagnabit.com/Informacion.htm)>
- [4] Philips, Proyectos < [www.philipslumileds.com/](http://www.philipslumileds.com/) <[www.lighting.philips.com/es\\_es/project/](http://www.lighting.philips.com/es_es/project/)>
- [5] ERCO, Products < [www.erco.com/](http://www.erco.com/)  
<[www.erco.com/products/outdoor/bollard-luminaires-240/visor-3688/es/intro-1.php](http://www.erco.com/products/outdoor/bollard-luminaires-240/visor-3688/es/intro-1.php)>
- [6] DiLaura, David L. 2011 "**The lighting handbook: reference & application**" New York: Illuminating Engineering Society of North.
- [7] Y.K. Cheng y K.W.E.Cheng. *General study for using led to replace traditional lighting devices*, Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2006.
- [8] Gilbert Held. *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications*, 1ra ed., Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [9] Arturas Zukauskas, Remis Gaska y Michael Shur. *Introduction to Solid-state Lighting*, 1ra ed., New York: Wiley, 2002.
- [10] D. Reynders, J. Park, S. Mackay y E. Wright. *Industrial Data Networks*, 1ra ed., Oxford: Elsevier, 2004.
- [11] E. Fred Schubert. *Light-Emitting Diodes*, 2da ed., Cambridge: Cambridge University, 2006.
- [12] Jeff Y. Tsao. "Solid State Lighting: Lamps, Chips and Materials for Tomorrow". *IEEE Circuits & Devices Vol 20 N°3*, pages 28–37, Albuquerque: Sandia National Laboratories, 2004.
- [13] Juan Pablo Zeballos. *Diseño de los subsistemas de luminarias y circuitos de excitación de un sistema de iluminación exterior basado en tecnología de leds de potencia para el logo pucp en el edificio Mac Gregor.* Tesis de grado en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Electrónica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.
- [14] Cree. <[www.creeledlighting.com](http://www.creeledlighting.com)>

- [15] Digikey Corporation. <[www.digikey.com](http://www.digikey.com)>
- [16] Atmel. Hoja de datos del Atmega 8.
- [17] Microchip Technology Inc. <[www.microchip.com](http://www.microchip.com)>
- [18] Pablo Villalva Hernandez-Franch.(2009). "*Desarrollo e implementación de sistema de control para pantalla RGB con LEDs a través de protocolo DMX512 y mando a distancia infrarrojo*", Madrid, España. DESET
- [19] Code Plex. <<http://acn.codeplex.com/>>
- [20] Philips Argentina S.A.(1995) "*Manual de iluminación*", primera edición en español (traducida de la 5ta edición original), Argentina.
- [21] Microchip. Hoja de datos del PIC18f452.
- [22] LEDWALKER. Hoja de datos de la luminaria LEDWALKER 144W WALLWASHER Modelo: LW-RGBF-100-144B.
- [23] STARVILLE. Hoja de datos de la luminaria STARVILLE 126 W WALLWASHER.
- [24] Microchip. Hoja de datos del amplificador operacional SSM2143.
- [25] Texas Instrument. Hoja de datos del amplificador operacional LM741
- [26] Microchip. Hoja de datos del amplificador operacional MCP621
- [27] Vishay. Hoja de datos de la pantalla LCD 16x2 caracteres LCD-016M002b