

**CONTROL DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO EN FIBRA ÓPTICA  
Y ENERGÍAS RENOVABLES.**

**DAVID ESNEIDER OQUENDO VILLA**

**GABRIEL JAIME GOMEZ ESCOBAR**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
ENVIGADO  
2009**

**CONTROL DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO EN FIBRA ÓPTICA  
Y ENERGÍAS RENOVABLES.**

**DAVID ESNEIDER OQUENDO VILLA**

**GABRIEL JAIME GOMEZ ESCOBAR**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico**

**Asesor  
Paula Andrea Ortiz Valencia  
I.I.C., M.S.**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
ENVIGADO  
2009**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi madre que con su apoyo incondicional me dio la oportunidad de hacer mis estudios y a mi familia y amigos que me apoyaron y no dejaron que nunca desfalleciera. También lo dedico a mis maestros los cuales cada vez más me abren los ojos para enfrentar un mundo que está lleno de problemas a los cuales estamos llamados a solucionar.

**David Esneider Oquendo Villa**

Dedico este proyecto principalmente a mis padres y hermanos que con su apoyo me dieron la confianza para lograr este triunfo, y a mis amigos que incondicionalmente siempre estuvieron presentes en esta etapa de mi vida.

**Gabriel Jaime Gómez Escobar**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos la oportunidad de estudiar y poder culminar con éxito esta carrera.

A nuestro Padres por su amor y esfuerzo incondicional.

A nuestra asesora por darnos la confianza y credibilidad durante todo el desarrollo del proyecto.

A la Universidad por su apoyo.

A nuestros Profesores y Amigos que hicieron parte de este proceso.

# Contenido

	<b>Pag</b>
INTRODUCCIÓN	12
1 PRESENTACION DEL TRABAJO DE GRADOS	13
1.1 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
1.2 JUSTIFICACION.	14
1.3 OBJETIVOS.	15
1.3.1 Objetivo general.	15
1.3.2 Objetivos específicos.	15
1.4 DISEÑO METODOLÓGICO.	15
1.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	17
1.6 PRESUPUESTO.	18
1.7 IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS.	21
1.8 COMPROMISOS Y ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN.	21
2 DESARROLLO TECNOLÓGICO.	22
2.1 EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.	22
2.2 LITRACON	22
2.3 TUBOS DE ALTA REFLECTIVIDAD.	23
2.4 COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL SOLATUBE CON LAS LUCES ELÉCTRICAS.	24
2.5 LUZ SOLAR POR FIBRA ÓPTICA.	26
2.5.1 Fibra óptica para iluminación.	27
2.5.2 Perdidas por atenuación.	29
2.5.3 Perdidas.	30
2.6 ENERGÍA DEL SOL	30
2.7 LENTES CONVERSORES Y DISPERSORES.	32
2.7.1 Tipos de lentes convergentes.	32
2.7.2 Tipos De Lentes Divergentes	33
3 TECNOLOGIA USADA PARA EL SISTEMA DE ILUMINACION.	34
3.1 CAPTURA DE LA LUZ.	34
3.1.1 Tecnología Raybender.	35
3.1.2 Conceptos básicos que debemos conocer.	36
3.2 ¿POR QUÉ USAR LUZ NATURAL?	37
3.3 TRASPORTE DE LA LUZ.	37
3.4 DISPERSOR DE LA LUZ.	38
3.5 DIODOS LED.	38
3.5.1 Beneficios De La Luz LED De Alta Potencia.	41
4 DISEÑO DEL MODELO A ESCALA.	43
4.1 DISEÑO DEL MODELO A ESCALA.	43
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.	43
4.3 DISEÑO ELECTRÓNICO.	44
4.3.1 Diseño del circuito de potencia.	44
4.3.2 Diseño del circuito de control.	44
4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CIRCUITO DE CONTROL.	45

5	VALIDACION DEL MODELO	47
6	CONCLUSIONES	49
7	RECOMENDACIONES	50
	BIBLIOGRAFÍA	51
	ANEXOS	53

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag</b>
Tabla 1. Presupuesto global del trabajo de grado.	18
Tabla 2. Descripción de los gastos del personal.	18
Tabla 3. Descripción de publicaciones.	18
Tabla 4. Descripción materiales y suministros.	19
Tabla 5. Descripción de las salidas de campo.	19
Tabla 6. Descripción de bibliografía.	20
Tabla 7. Descripción de equipos.	20
Tabla 8 Compuestos empleados en la construcción de LED.	40
Tabla 9. Medidas de la iluminancia	48

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag</b>
Figura 1 Litracon	22
Figura 2 Sistema de iluminación natural Solatube	24
Figura 3 a) Paneles (Skyport)    b) Fibra óptica (Sunwire)    c) Dispersores (Bjork).	26
Figura 4 Fibra óptica para iluminación.	28
Figura 5 Fibra óptica para telecomunicaciones.	28
Figura 6 Características de la fibra óptica.	29
Figura 7 Atenuación de la luz en un cable de fibra óptica	30
Figura 8 Espectro Solar	31
Figura 9 Tipos de lentes convergentes	32
Figura 10 Lentes convergentes	33
Figura 11 Lentes divergentes	33
Figura 12 Reflexión en una lente	33
Figura 13 Domo en acrílico	34
Figura 14 Foco luminoso generado por un domo	35
Figura 15 Representación simbólica del diodo LED	40
Figura 16 Esquema del modelo.	43
Figura 17 Circuito de potencia	44
Figura 18 Esquema del circuito impreso.	45
Figura 19 Diagrama de flujo del proceso	46
Figura 20 Vista superior del circuito completo	47
Figura 21 absorción óptima de conos y bastones por longitud de onda.	53



## GLOSARIO

**CAPTURA DE LUZ:** Es el proceso por el cual mediante el uso de diferentes dispositivos se capturan los rayos de luz y son redireccionados en un sentido específico.

**COLIMADOR:** Un colimador es un sistema que a partir de un haz (de luz, de electrones, etc.) divergente obtiene un "haz" paralelo. Sirve para homogeneizar las trayectorias o rayos que, emitidos por una fuente, salen en todas direcciones y obtiene un chorro de partículas o conjunto de rayos con las mismas propiedades.

**DISPERSIÓN:** Es el proceso por el cual la luz es emitida de forma homogénea en un lugar determinado.

**DOMO:** Los domos son una tecnología utilizada para proveer en el día, de luz natural algunas zonas dentro de las casas o edificaciones.

**LUX:** El lux (símbolo: lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de Medidas para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m<sup>2</sup>.

**SENSOR:** Es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo.

## RESUMEN

En este proyecto se describe el desarrollo de un sistema de iluminación con luz natural el cual utiliza fibra óptica para el transporte de la misma, este sistema presenta una tecnología innovadora que permite aprovechar la mayor cantidad de luz emitida por el sol.

Con las investigaciones pertinentes y la formación académica que se ha adquirido durante el proceso de formación se dio paso al diseño y construcción de un modelo a escala, en el cual están presentes todas las tecnologías que debe tener un sistema real de iluminación, este sistema se presenta como una alternativa, para reducir la contaminación causada por los gases generados por el uso energías convencionales

Toda la teoría consignada en este proyecto, describe el problema al cual se le quiere dar solución y muestra las etapas del diseño con las tecnologías usadas para cada una, además se presenta los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, así como una serie de conclusiones y recomendaciones acerca del proyecto.

Todo sistema de iluminación natural debe de tener tres etapas: captura, transmisión y dispersión, para el caso de este proyecto estas etapas se construyen a partir de dos grandes antecedentes como lo son Solatube y Parans, de los cuales se ha hecho apropiación de tecnología empleada por estas y se ha llevado un nuevo modelo el mismo que además cumple con control del sistema de iluminación artificial por medio de LED de alta potencia y bajo consumo de energía.

## **ABSTRACT**

This project describes the development of an illumination system with natural light, which uses optical fiber to transport it, this system shows innovative technology that lets use the bigger amount of light emitted by the sun.

With the investigations done and the academic formation that has been acquired during the formation process the design and construction of a scale model, in which all the technologies that a real illumination system must have are present, this system is presented as an alternative to reduce contamination caused by the gases generated by conventional energies.

All the theory on this project describes the problem which wants to be solved and shows the stages of design with the technology used for each one, besides the results obtained during the tests, and a series of conclusions and recommendations about the project.

Every system of natural lighting should have three phases: capture, broadcast and dispersion, for the case of this project these phases are built from two large antecedents as are it Solatube and Parans, of which appropriation of employed technology has done itself by these and a new model has been carried the same one that besides complies with control of the system of artificial lighting through LED Of highly power and low consume of energy.

## INTRODUCCIÓN

El incremento en el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía y de la cual gran parte de esta es utilizada para iluminación, ha ido generando grandes cambios en la sociedad y en el medio ambiente los cuales pueden ser una amenaza para el planeta si no se detiene a tiempo.

Este proyecto se realiza con la intención de integrar las energías renovables y las tecnologías actuales para obtener un producto innovador, eficiente y que además sea una de las muchas respuestas al problema ambiental

La iluminación natural de interiores ofrece mayores ventajas como: la utilización de la energía renovable radiante del sol y del cielo; la calidad de la luz solar tiene la particularidad de ser dinámica ya que está continuamente cambiando a lo largo del día. Utilizar luz natural implica ahorro de energía para quien la utiliza. La luz solar introduce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica. Puede proporcionar niveles de iluminancia más elevados en las horas diurnas que los obtenidos con luz eléctrica.

Entre un 70-90% del total de horas del día hay disponibilidad de luz natural, lo que implica un gran potencial de ahorro en energía eléctrica en edificios de uso diurno (escuelas, oficinas, industrias).

Con iluminación natural se puede disfrutar de una iluminancia homogénea de 1000 lux en recintos cerrados pero con ingreso de la misma, si estamos en lugares abiertos la iluminancia será de 3000 lux.

# 1 PRESENTACION DEL TRABAJO DE GRADOS

## 1.1 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La luz es un componente esencial en el desarrollo de la mayoría de las actividades que realizan las personas durante su existencia, y la principal fuente y la más antigua de todas, es la luz que obtenemos de la energía solar. El hombre por su parte ha originado iluminación a través de otras fuentes o recursos energéticos terrestres tales como los combustibles fósiles, las hidroeléctricas y la energía atómica entre otros. Pero la explotación de estas fuentes de energía trae consigo efectos medioambientales negativos para el planeta y la humanidad, además, el costo de generación energética basada en este tipo de fuentes, es muy elevado y genera un alto impacto social.

En la actualidad todas las fuentes modernas de iluminación aplicadas al alumbrado interior de edificios, casas, instituciones y empresas en las grandes ciudades son eléctricas generalmente, siendo esta la única fuente de luz durante la noche y utilizada como fuente de luz complementaria durante el día, sin importar el gran consumo energético que esto genera diariamente y por ende olvidando la problemática de salud que esta genera debido a su producción de rayos ultravioleta e infrarrojos siendo estos últimos los que producen el calor.

Las energías renovables son nuevos sistemas de generación de energía que pueden ser utilizados para reemplazar los actuales y además estos no afectan el medio ambiente. Su principal objetivo es frenar el problema ambiental producido por la utilización de los recursos energéticos convencionales y mejorar la calidad de vida. Dentro de las principales formas de energías renovables se encuentran la energía eólica, la solar fotovoltaica y la solar térmica.

Una de las fuentes y tecnologías que actualmente se encuentran en proceso de investigación y desarrollo, son los sistemas de iluminación por medio de transmisión lumínica en fibra óptica o dispositivos que sean de bajo consumo energético y tengan baja producción de calor. Las fibras ópticas son usadas en el campo de la iluminación aunque su principal uso esta en las comunicaciones. Una aplicación de esta siendo usada en edificios donde la luz pueda ser recogida en la azotea y ser llevada mediante fibra óptica a cualquier parte del mismo<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> FRANCO, F-1. Teoría y métodos de diseño. Venezuela. Marzo 02 de 2009. [en línea].

En el desarrollo del proyecto, se pretende dar solución a la siguiente pregunta de investigación:

“Como optimizar los actuales procedimientos y técnicas para el proceso de iluminación de recintos interiores, basados en el uso de fibra óptica”

## **1.2 JUSTIFICACION.**

La iluminación es uno de los requerimientos ambientales más importantes de los interiores, en tanto que la visibilidad en un espacio es una condición esencial para la realización adecuada, segura y en confort de nuestras actividades. Una buena iluminación requiere igual atención en la cantidad como en la calidad de luz.

Para responder a estas demandas la iluminación de correcta de espacios, puede ser realizada con luz natural, luz artificial o una combinación de ambas.

La iluminación natural de interiores ofrece mayores ventajas como: la utilización de la energía renovable radiante del sol y del cielo; la calidad de la luz solar tiene la particularidad de ser dinámica ya que está continuamente cambiando a lo largo del día. Utilizar luz natural implica ahorro de energía para quien la utiliza. La luz solar introduce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica. Puede proporcionar niveles de iluminancia más elevados en las horas diurnas que los obtenidos con luz eléctrica.

Entre un 70-90% del total de horas del día hay disponibilidad de luz natural, lo que implica un gran potencial de ahorro en energía eléctrica en edificios de uso diurno (escuelas, oficinas, industrias).

Con iluminación natural se puede disfrutar de una iluminancia homogénea de 1000 lux en recintos cerrados pero con ingreso de la misma, si estamos en lugares abiertos la iluminancia será de 3000 lux.

Iluminar con luz natural como fuente de luz desde su aspecto energético-ambiental, sólo genera una relación positiva de confort de los usuarios de estos espacios mejorando los efectos en el sistema visual y afectando de una manera positiva el rendimiento en las actividades del usuario <sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>PATTINI, Andrea. Luz natural e iluminación de interiores. Argentina. Marzo 16 de 2009. [en línea].

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Diseñar un sistema de control de iluminación basado en fibra óptica, energías renovables y dispositivos de baja potencia.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Evaluar las tecnologías empleadas en el desarrollo de sistemas de iluminación basada en fibra óptica.
- Diseñar los sistemas de captura, amplificación, transmisión y dispersión de la luz solar.
- Implementar los dispositivos de control de intensidad lumínica en recintos interiores en el modelo a escala.
- Validar el sistema de control propuesto creando un modelo a escala.

### **1.4 DISEÑO METODOLÓGICO.**

Este trabajo de grado se desarrollará bajo los principios de desarrollo tecnológico donde las fases del método son flexibles, permitiendo abordar los temas de forma dinámica y generando el conocimiento en forma de teoría o métodos que en un período mediano desembocan en aplicaciones al sector productivo.

El proyecto se llevó a cabo en las siguientes etapas:

**EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN:** En esta etapa nos dirigimos al registro de aquellos hechos que nos permitan conocer y analizar el tema de investigación, utilizando tanto las fuentes primarias que contienen información original como las fuentes secundarias que son las obras de referencia que auxilian al proceso de investigación.

Las salidas de campo y las visitas son otras estrategias para la recolección de información.

Además en esta etapa hacemos uso de la información más importante y la utilizamos para plantear el desarrollo del problema de investigación

**DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN:** En esta etapa se analizarán las técnicas y métodos usados para la captura, amplificación, transmisión y dispersión de la luz de una forma uniforme y eficiente, usando los resultados óptimos para ser implementados dentro del proyecto.

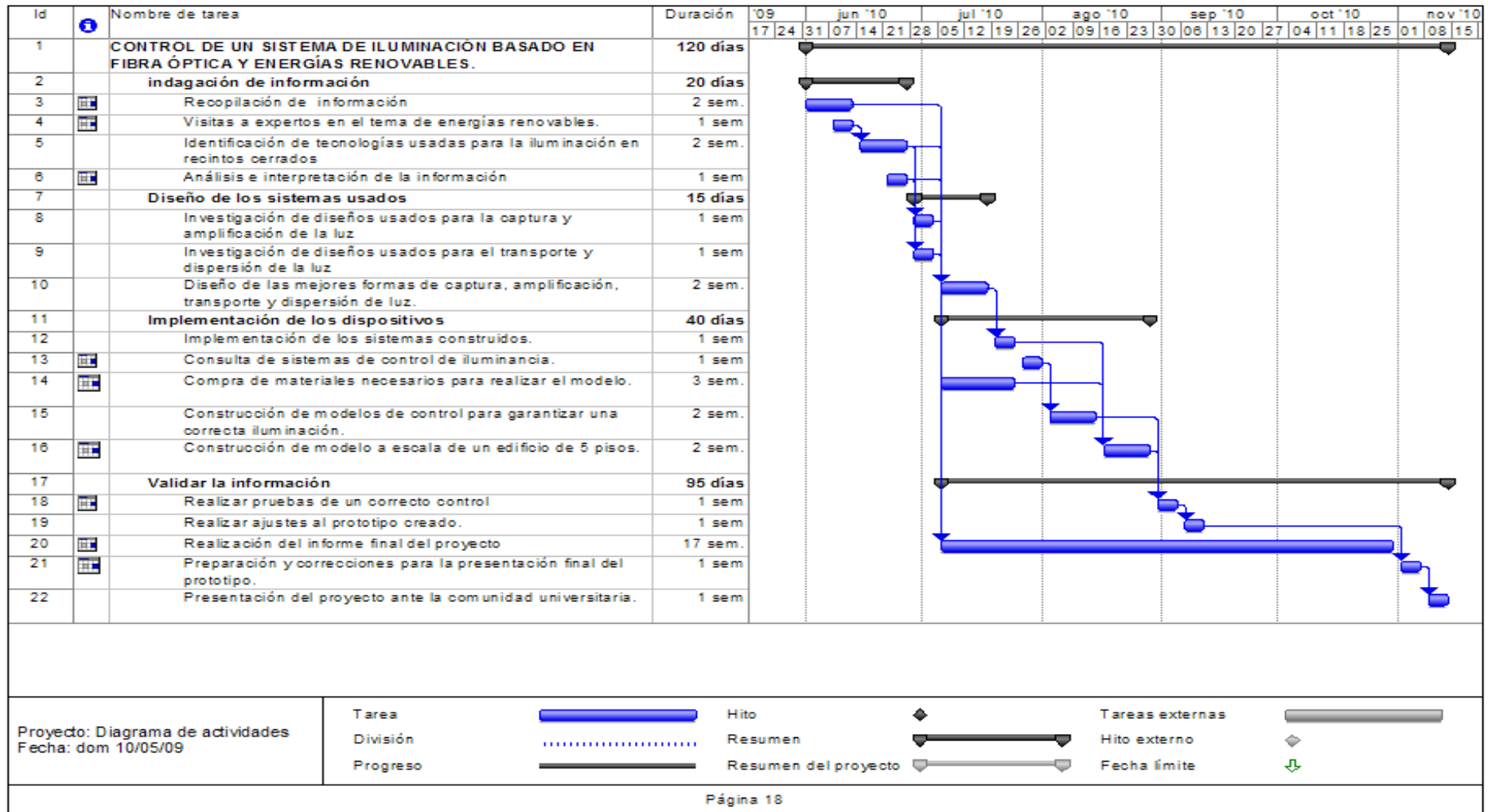
**IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN:** En esta etapa usaran los resultados de la etapa anterior para ser usados en el desarrollo del prototipo y así evaluar el desempeño del sistema propuesto.

**VALIDACIÓN DEL SISTEMA:** En esta etapa se construirá un prototipo a escala del modelo seleccionado, sobre este se realizaran las pruebas necesarias para su correcto desempeño y puesta en funcionamiento, asegurando un correcto control de iluminancia.

**PRESENTACIÓN DEL INFORME:** Al finalizar todo el prototipo se presentara un informe escrito con todos los resultados obtenidos durante el desarrollo del mismo, en el cual se contiene todo un diseño metodológico e investigativo.



## 1.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



## 1.6 PRESUPUESTO.

Tabla 1. Presupuesto global del trabajo de grado.

<b>PRESUPUESTO GLOBAL DEL PROYECTO</b>				
<b>Rubros</b>	<b>FUENTES</b>			<b>TOTAL</b>
	<b>Estudiantes</b>	<b>IUE</b>	<b>Externa</b>	
Personal	9,600,000			\$9,600,000
Material y suministros	2,318,000			\$2,318,000
Salidas de campo	190,000			\$190,000
Bibliografía	50,000	\$55,000		\$105,000
Equipos	\$1,830,000	\$2,227,000	\$550,000	\$4,607,000
Otros	\$200,000			\$200,000
<b>TOTAL</b>	<b>\$14,188,000</b>	<b>\$2,282,000</b>	<b>\$550,000</b>	<b>\$17,020,000</b>

Tabla 2. Descripción de los gastos del personal.

<b>DESCRIPCION DE LOS GASTOS DE PERSONAL</b>					
<b>Nombre de Investigadores</b>	<b>Función en el Trabajo</b>	<b>Dedicación horas/semana</b>	<b>FUENTES</b>		<b>TOTAL</b>
			<b>Estudiantes</b>	<b>IUE</b>	
David Esneider Oquendo Villa	Investigador	14	\$4,800,000		\$4,800,000
Gabriel Jaime Gómez Escobar	Investigador	14	\$4,800,000		\$4,800,000
	Asesor	2		\$900,000	\$900,000
<b>TOTAL</b>		<b>28</b>	<b>\$9,600,000</b>	<b>\$900,000</b>	<b>\$10,500,000</b>

Tabla 3. Descripción de publicaciones.

<b>DESCRIPCION DE PUBLICACIONES</b>				
<b>DESCRIPCION DE PUBLICACIONES</b>	<b>FUENTES</b>			<b>TOTAL</b>
	<b>Estudiantes</b>	<b>IUE</b>	<b>Externa</b>	
Publicación de artículo en revista	\$ 200,00			\$ 200,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 200,00</b>			<b>\$ 200,00</b>

Tabla 4. Descripción materiales y suministros.

DESCRIPCION DE MATERIALES Y SUMINISTROS				
Participantes	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Fibra Óptica	\$1,800,000			\$1,800,000
MDF	\$ 60,00			\$ 60,00
Silicona	\$ 15,00			\$ 15,00
Diodos LED	\$ 60,00			\$ 60,00
Fuente Regulada	\$ 30,00			\$ 30,00
Lentes amplificadores	\$ 50,00			\$ 50,00
Colimadores	\$ 30,00			\$ 30,00
Circuito de control	\$ 70,00			\$ 70,00
Cable	\$ 3,00			\$ 3,00
Material de oficina	\$ 200,00			\$ 200,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,318,000</b>			<b>\$2,318,000</b>

Tabla 5. Descripción de las salidas de campo.

DESCRIPCION DE LAS SALIDAS DE CAMPO				
DESCRIPCION DE LAS SALIDAS DE CAMPO	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Visita Bibliotecas	\$ 70,00			\$ 70,00
Visita a ECOR	\$ 40,00			\$ 40,00
Visita al grupo de investigación en energías renovables de la U de A.	\$ 40,00			\$ 40,00
Visita a Hybrytec	\$ 40,00			
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 190,00</b>			<b>\$ 190,00</b>

Tabla 6. Descripción de bibliografía.

DESCRIPCION DE BIBLIOGRAFIA				
DESCRIPCION DE BIBLIOGRAFIA	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Instalaciones de fibra óptica		\$ 35,00		\$ 35,00
Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente		\$ 20,00		\$ 20,00
Manual de Instalaciones de alumbrado y fotometría.	\$ 50,00			\$ 50,00
<b>TOTAL</b>	\$ 50,00	\$ 55,00		\$ 0,00

Tabla 7. Descripción de equipos.

DESCRIPCION DE EQUIPOS				
DESCRIPCION DE EQUIPOS	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Osciloscopio		\$2,127,000		\$2,127,000
Multímetro		\$ 100,00		\$ 100,00
Taladro	\$ 60,00			\$ 60,00
Motor tool	\$ 90,00			\$ 90,00
Caladora			\$ 50,00	\$ 50,00
Fotómetro			\$ 500,00	\$ 500,00
Computador Portátil	\$1,500,000			\$1,500,000
Cautín	\$ 30,00			\$ 30,00
Impresora	\$150,000			\$ 150,00
<b>TOTAL</b>	\$1,830,000	\$2,227,000	\$ 550,00	\$4,607,000

## **1.7 IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS.**

Por medio de este proyecto pretendemos llegar a generar un grado de conciencia en la sociedad Colombiana, en un mundo donde cuidemos de nuestro planeta y ayudemos a dar un respiro sobre el uso de sus recursos no renovables.

Finalizado el proyecto, pretendemos dar a conocer las propiedades de los sistemas de iluminación por fibra óptica. Así mismo se pretende crear un prototipo a escala para mostrar las ventajas y aplicaciones principales de la iluminación de interiores por fibra óptica.

Este prototipo servirá para el estudio de las propiedades de la fibra óptica en la iluminación por medio de la luz solar y la artificial, además brindara una referencia para futuras investigaciones en la búsqueda de más y mejores fuentes de energía renovables.

El prototipo incluirá un dispositivo de captura de la luz, fibra óptica para el transporte de la misma y un dispositivo para la dispersión de la luz en forma homogénea. En el dispositivo de captura también ira incluido el sistema de iluminación alterno, el cual son varios LED de alta potencia que van a irse encendiendo de acuerdo como el circuito de control lo requiera.

## **1.8 COMPROMISOS Y ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN.**

Con el desarrollo este proyecto se pretenderá seguir las siguientes pautas:

- Presentación de avances en las etapas de desarrollo.
- Socialización del proyecto a toda la comunidad de la Institución Universitaria de Envigado.
- Presentación de un artículo científico para su publicación en la revista de la Facultad de ingenierías de la Institución Universitaria de Envigado.

## 2 DESARROLLO TECNOLÓGICO.

### 2.1 EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.

#### ANTECEDENTES DE LA ILUMINACION NATURAL

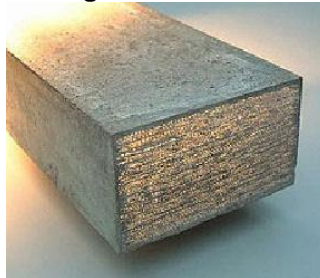
A lo largo de la historia, contar con luz artificial ha sido una necesidad que la humanidad ha buscado satisfacer de diversas maneras, esto ha generado un creciente consumo de energía, el cual ha puesto en riesgo el equilibrio de nuestro planeta, provocando cambios climáticos como el calentamiento global.

Muchas empresas han demostrado que es posible transportar la luz del sol y llevarla hasta los interiores para utilizarla en iluminación, reduciendo así el uso de la energía convencional en las horas del día, las tecnologías que utilizan estas empresas son de fácil uso y tienen una vida útil mayor a los 10 años.

### 2.2 LITRACON

El hormigón translúcido (litracon) es una de las muchas formas de energía renovable que se proponen, se trata de un compuesto formado por hormigón (cemento) y fibra óptica, un nuevo material que ofrece la resistencia del hormigón pero adicionalmente, presenta la particularidad de dejar traspasar la luz. Figura 1.

Figura 1 Litracon



El material es translúcido porque las fibras de vidrio llevan la luz en forma de pequeños puntos a partir de una cara iluminado a la cara del bloque opuesto permitiendo que los colores de la luz se transmitan sin mayores cambios <sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> HADDOCK. Hormigón translucido. Abril 20 de 2009. [en línea].

### **2.3 TUBOS DE ALTA REFLECTIVIDAD.**

La empresa Española Solatube ha presentado un sistema de iluminación que captura la luz solar por medio de domos que dirigen los rayos solares al interior de un tubo reflector que transporta la luz hasta el interior de las viviendas, dispersándola de una manera homogénea a través de unos lentes difusores. La gran ventaja de esta empresa sobre el mercado, es su alta calidad de la luz usada en los interiores a partir de la luz entregada por el sol, siendo esta aprovechada al 99.7%.

El dispositivo de captura de la luz, utiliza un domo de poliuretano translucido con protección UV, además cuenta con la tecnología Raybender, la cual tiene la función de re direccionar los rayos del sol en un ángulo bajo para hacer toda la transferencia de luz directo al tubo y por último a los elementos difusores. Esta tecnología también cuenta con las propiedades de mantener una entrada constante de luz a los tubos, independiente del ángulo de incidencia de los rayos del sol o de la hora del día.

Esta tecnología usada por Solatube ha sido patentada y está siendo usada en algunas casas y locales comerciales con el fin de evitar el consumo de energía eléctrica en horas del día en las cuales se puede aprovechar la luz solar generando un ahorro para el consumidor y principalmente ayudar al medio ambiente reduciendo la contaminación por los gases producidos por la generación energía convencional.

Los sistemas de iluminación natural Solatube® 160 DS y 290 DS son totalmente novedosos y marcan un nivel de rendimiento sin precedentes. Estos modelos incorporan la tecnología Raybender® 3000 y el reflector LightTracker™, ambos patentados para conseguir una superficie efectiva de captación de luz considerablemente superior a la de los anteriores modelos Solatube de 25 y 35 cm y casi el doble que la de los productos de imitación de tamaño similar. Muy eficaces y fáciles de instalar, estos modelos pueden transformar las habitaciones interiores oscuras, e iluminar los espacios más amplios con varias unidades creando un efecto arquitectónico especial. La tecnología usada por Solatube brinda las garantías de protección de los rayos UV y además no genera calor. <sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> JUSTO, Juan. Solatube, iluminación natural. Buenos Aires, Argentina. Marzo 27 de 2009. [en línea].

**Figura 2 Sistema de iluminación natural Solatube**



## **2.4 COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL SOLATUBE CON LAS LUCES ELÉCTRICAS.**

La luz se mide en lúmenes y el uso de la energía en vatios. Una lámpara incandescente estándar de 100 vatios produce 1200 lúmenes. Un tubo fluorescente de 40 vatios, 48 pulg. (1.2 metros) produce 2300 lúmenes.



Producto	Emisión relativa de luz (lúmenes)	Lámpara eléctrica y artefacto
Cielo raso abierto 530mm (21 pulg.) 21-0 Solatube (b) (Serie SolaMaster)	13,900 lúmenes promedio (a) Hasta 20,800	Aproximadamente igual a la luz emitida por 0,6 accesorios de haluro de metal de compartimiento alto de 400 vatios. (c)
21-C Solatube de 530mm (21 pulg.) Suspendido/Cielo duro (Serie SolaMaster)	13,500 lúmenes promedio (b) hasta 20,500	Aproximadamente igual a usar la emisión de luz de 2 artefactos, cada uno de los cuales usa (3) lámparas fluorescentes F032T8. (d)
Solatube de 290 DS (Serie Brighten Up)	(a) 6,000 lúmenes promedio hasta 9,100	(b) Aproximadamente igual a usar la emisión de luz de 1 artefacto que usa (3) lámparas fluorescentes F032T8. (d)
Solatube de 160 DS (Serie Brighten Up)	(a) 3,000 lúmenes promedio hasta 4,600	(b) Aproximadamente igual a (3) lámparas fluorescentes compactas de 18W de cuatro tubos. (d)

- a. La emisión relativa de luz del Solatube basada en un tubo de 76cm (30 pulg.) para el producto de cielo raso abierto SolaMaster de 530mm (21 pulg.). Los valores máximo y promedio logrados durante el pico de las 2.400 horas anuales de luz diurna para San Diego, con datos meteorológicos TMY2 de California.
- b. La emisión relativa de luz del Solatube basada en un tubo de 1.82m (6 pies) de largo para los productos Brighten Up de 160 DS y de 290 DS y el SolaMaster para cielo raso suspendido de 21-C (530mm/21 pulg.). Los valores máximo y promedio logrados durante el pico de las 2.400 horas anuales de luz diurna para San Diego, con datos meteorológicos TMY2 de California.
- c. Suponiendo la eficiencia de un artefacto típico de compartimiento alto del 90% y una salida promedio de lámpara de 25.000 lúmenes.
- d. Suponiendo un factor de pérdida típico de 0.75, excluyendo pérdidas adicionales de eficiencia.<sup>5</sup>

De esta empresa se rescata la utilización de los domos para la captura de la luz solar ya que es un sistema que no requiere de electricidad para un funcionamiento óptimo.

Las 4 versiones que ofrece el SolaMaster, el 21-0, 21-C, 290 DS y el 160 DS, se

<sup>5</sup> TECNOSOLAR. Iluminación natural. El salvador. Abril de 2007 [en línea]

diferencian entre sí por el modo de captación de la luz. los domo del 21.0 y 21-C, tienen una forma más redondeada y usan el reflector LightTracker para mejorar la captación de la luz. Los domos del 160 y 290 DS, son de forma más alargada, en vez de usar el reflector LightTracker usan la tecnología Raybender 3000 que permite mejorar la captación de luz durante el amanecer y el atardecer y frenar a la vez el exceso de luz que puede darse a mediodía en verano.

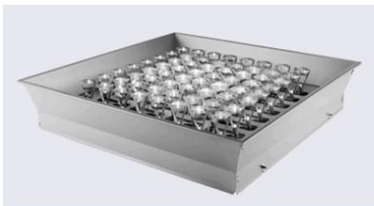
## 2.5 LUZ SOLAR POR FIBRA ÓPTICA.

La empresa Parans presenta un sistema de iluminación que aprovecha la luz emitida por el sol, para transportarla al interior ya sea de edificaciones, colegios, empresas, hogares, etc. Es un proyecto que promueve la utilización de energía renovable o energía limpia, en respuesta al cambio climático producido por las emisiones de gases.

“Parans es una compañía sueca, fundada por un equipo de arquitectos, que ha conseguido crear un producto capaz de transportar luz solar, Mediante unos paneles (Skyport) figura 3 a, que captan la luz, sencillamente colocados en el tejado, este sistema consigue iluminar cualquier parte del edificio transportándola con unos cables de fibra óptica (Sunwire) figura 3 b, La luz se distribuye hasta unos dispositivos bautizados como (Bjork) figura 3 c, que permiten una intensidad de hasta 4.000 lux.

Los paneles de la azotea se colocan como cualquier placa solar convencional, y el sunwire que lo transporta hasta el interior es de 25mm de sección, compuesto por 16 cables de fibra óptica. La efectividad del sistema obviamente dependerá de lo soleado del día y de la longitud del cable, hasta 15m es la distancia aconsejable, esto es posible puesto que la disminución de la intensidad para la luz visible es solamente de un 4.6 % por metro. Las luminarias colocadas por el sistema permiten graduar el nivel de luz.”<sup>6</sup>

**Figura 3 a) Paneles (Skyport)**



**b) Fibra óptica (Sunwire)**



**c) Dispersores (Bjork).**



<sup>6</sup>PARANS. Luz solar por fibra óptica. Suecia. Marzo 12 de 2009 [en línea]

De esta empresa tomamos como referencia el uso de la fibra óptica para el transporte de la luz debido a su gran acercamiento a nuestro proyecto.

### **2.5.1 Fibra óptica para iluminación.**

La fibra óptica es una guía de ondas, formada por filamentos del espesor de un pelo, capaz de guiar una potencia óptica (lumínica) cada fibra consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio), con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor.

Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total. Así, en el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro <sup>7</sup>.

Desde la historia conocida más antigua, la luz se ha usado para comunicar a distancia, aunque las técnicas empleadas han sido a menudo lentas y engorrosas. Históricamente, la comunicación ha estado limitada por condiciones atmosféricas – por ejemplo, era generalmente imposible con niebla o lluvia fuerte - y restringida a operaciones de visión directa. En tiempos tan remotos como los correspondientes a la antigua Grecia y los fenicios, la luz del sol se reflejaba con espejos para hacer señales entre torres, y esta técnica ha perdurado hasta la era moderna con algunas variaciones. Con el tiempo, la luz del sol ha sido remplazada por la luz artificial y la señal de encendido y apagado ha llegado a ser más estructurada, de forma que asemeja el código Morse.

Tras la invención del laser en 1958, se llevaron a cabo estudios posteriores de comunicación luminosa por el aire. Los láseres proporcionan un a banda estrecha de radiación de luz que se puede curvar mediante espejos. Sin embargo, la comunicación mediante luz no fue práctica pues dado que se requería visibilidad directa, la niebla o la lluvia podían obstruir el enlace rápidamente. Los experimentos continuaron con la propagación de la luz en un medio vítreo. El medio vítreo se prefirió al aire por su naturaleza constante y por que no se veía afectado por variaciones medioambientales.

En 1970 se descubrió la primera fibra óptica de bajas pérdidas. La fibra óptica hecha de sílice de 250 micras de diámetro – similar al tamaño de un cabello humano – se utilizó para la propagación de la luz en el laboratorio. Este fue el comienzo de la óptica de fibras <sup>8</sup>.

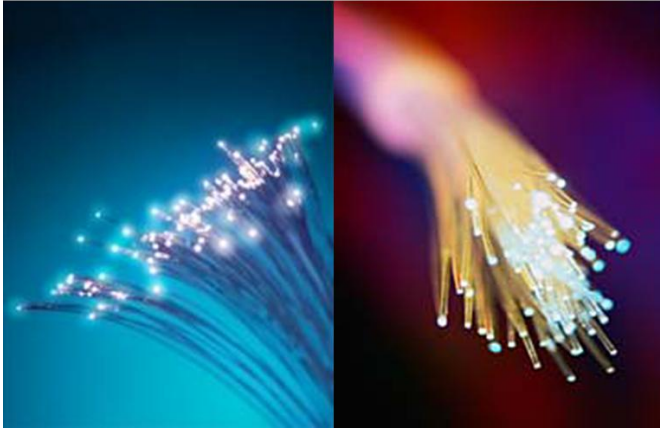
---

<sup>7</sup> CHOMYCS, B. Instalaciones de fibra óptica. Aravaca, Madrid. Marzo 19 de 2009.

<sup>8</sup> MUÑOZ, Ximena. Iluminación: fibra óptica. Milán. Marzo 03 de 2009. [en línea].

La fibra óptica utilizada en iluminación ver figura 4, posee características físicas muy diferentes a la fibra utilizada en telecomunicaciones figura 5, pero su modo de funcionamiento es muy similar.

**Figura 4 Fibra óptica para iluminación.**



**Figura 5 Fibra óptica para telecomunicaciones.**



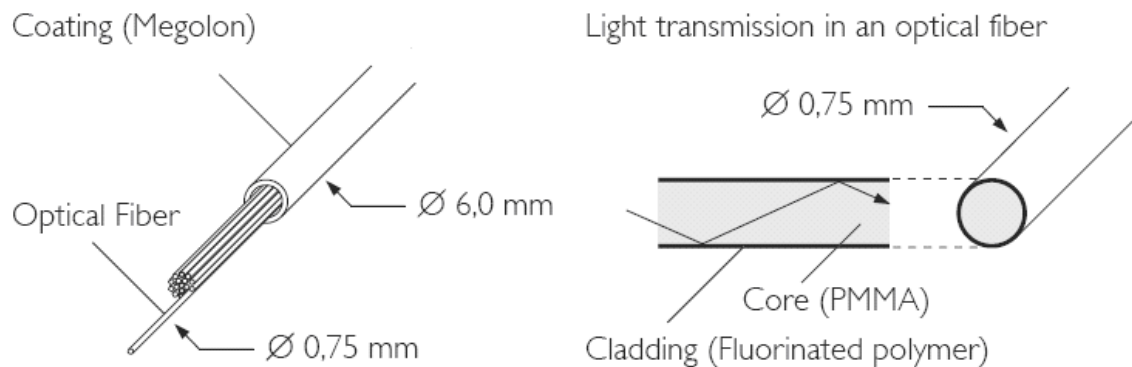
Las fibras ópticas pueden ahora usarse como los alambres de cobre convencionales, tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas (como los sistemas de largas líneas urbanas mantenidos por compañías telefónicas) y también para proveer de iluminación los hogares o edificaciones.

El principio en que se basa la transmisión de luz por la fibra es la reflexión interna total; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra figura 6. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por

dispersión de luz debida a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

En la figura 6 se muestra las características físicas de la fibra óptica utilizada por la empresa Parans, la cual consta de rollos de cable de 6mm de sección con un revestimiento de (Megolon) que es un plástico retardante del fuego, el cual contiene 16 hilos de fibra cada uno de 0.75mm

**Figura 6 Características de la fibra óptica.**



### 2.5.2 Pérdidas por atenuación.

La luz que se propaga en un conductor de fibra óptica experimenta una atenuación produciendo una pérdida de energía. En comunicaciones para cubrir grandes distancias sin emplear regeneradores intermedios se deben de mantener estas pérdidas en lo mínimo posible.

La atenuación de un conductor de fibra óptica es un parámetro importante para la planificación de redes de cables para telecomunicaciones ópticas y para diseños de sistemas de iluminación utilizando esta tecnología. La atenuación la producen principalmente fenómenos físicos como son absorción y dispersión.

Mientras que el fenómeno de absorción se produce únicamente a determinadas longitudes de onda (bandas de absorción), la pérdida luminosa debida a la dispersión existe para todas las longitudes de onda.

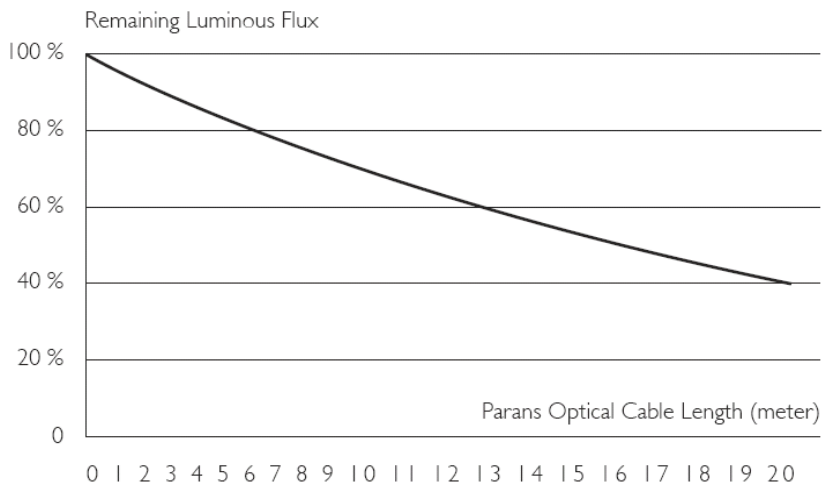
La dispersión se produce por discontinuidades en la fibra, cuyas dimensiones son por lo general menor que la longitud de onda de la luz.

### 2.5.3 Perdidas.

Se define como la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada, expresadas en decibeles.

Son varios los mecanismos de degradación que contribuyen a estas pérdidas de energía, siendo unos de carácter intrínseco a la fibra, tal como la composición del vidrio y de otros de origen externo, causados por impurezas, defectos de cableado, geometría de la fibra, etc. La atenuación adicional que proporcionan estos últimos es muy variable y puede minimizarse en muchos casos con un estudio adecuado de las condiciones de fabricación, mientras que los primeros vienen obligados por los fenómenos físicos que ocurren en el interior de la fibra y dependerá del material de dopado del núcleo y de la longitud de onda de trabajo. Por esta razón las empresas que utilizan fibra óptica para iluminación recomiendan utilizar máximo hasta 20 metros de cable en diseños de iluminación de interiores. Parans presenta una grafica de la atenuación de la luz por cada metro de fibra óptica ver figura 7.

**Figura 7 Atenuación de la luz en un cable de fibra óptica**



## 2.6 ENERGÍA DEL SOL

El sol es una estrella de tipo medio en cuyo interior, y debido a las altas temperaturas y presiones existentes (entre 10 y 40 millones de °K y mas de 1 millón de atmosferas), se producen reacciones termonucleares de fusión, en las cuales interviene su principal componente, el hidrogeno.

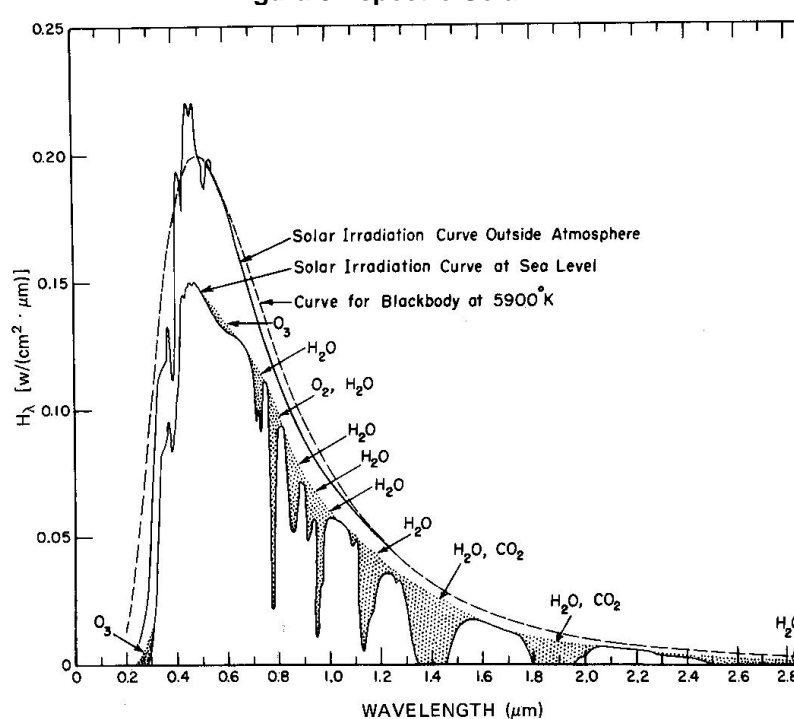
En esta reacción el hidrogeno **H** se convierte en helio **He** con una perdida de masa de aproximadamente 0.7%. Esta masa se convierte en energía radiactiva y

atraviesa la capa solar hasta llegar a su superficie, la cual se encuentra a 5500°K, radiándose a continuación al espacio en forma de: ondas electromagnéticas, neutrinos y partículas subatómicas (viento solar).

La energía solar que nos llega a la tierra lo hace en forma de ondas electromagnéticas, con longitudes de onda ( $\lambda$ ) entre 0.3 y 3 $\mu$ m. Dentro de este espectro nos encontramos con las siguientes radiaciones: **Gamma** (1%), **Ultra violeta** (4%), **Luminosa** (49%) e **Infrarroja** (46%)

Si bien es cierto que las radiaciones **Gamma** y **Ultra violeta** poseen un mayor nivel energético, debido a su baja longitud de onda, apenas representan un 5% del total de la energía solar. Sabiendo la energía de las **luminosas** y las **Infrarrojas**, con un 95%, la que debemos tener en cuenta para su aprovechamiento.<sup>9</sup>

Figura 8 Espectro Solar



<sup>9</sup> TKNKA. Curso de energía solar fotovoltaica. Bizkaia, Santurce. Marzo 10 de 2009.

## 2.7 LENTES CONVERSORES Y DISPERSORES.

En un sistema de iluminación basado en fibra óptica tiene tres elementos o etapas fundamentales que son: La captura de la luz, la transmisión de la luz y la dispersión de la misma. En la primera y tercera etapa se necesita de elementos que garanticen una buena recolección y dispersión de la luz respectivamente.

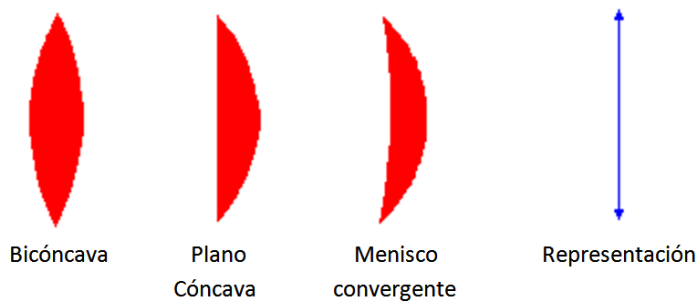
Una lente puede ser usada para enfocar la luz dentro de una región o punto. Un haz de luz que está viajando paralelo al eje de la lente, converge todos sus rayos en un punto conocido como punto focal, que se encuentra a una distancia  $f$  de la lente.

Los rayos paralelos que inciden con ángulo relativo al eje de la lente, son enfocados en el plano focal. El punto del foco está determinado por la intersección del rayo central con el plano focal. El rayo central (que pasa por el centro de la lente) no es desviado por la lente delgada porque entra a la lente y la deja sin sufrir mayor traslación de su línea de propagación.

Una lente delgada puede separar un haz que emerge desde un punto, si la fuente de luz está localizada en el punto focal, los rayos salen paralelos al eje de la lente. Las lentes son medios transparentes limitados por dos superficies, siendo curva al menos una de ellas.

### 2.7.1 Tipos de lentes convergentes.

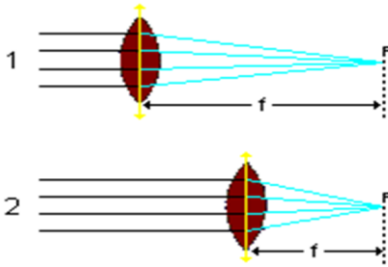
Figura 9 Tipos de lentes convergentes



Las lentes convergentes son más gruesas por el centro que por el borde, y concentran (hacen converger) en un punto los rayos de luz que las atraviesan. A este punto se le llama foco (F) y la separación entre él y la lente se conoce como distancia focal ( $f$ ) ver figura 9.



**Figura 10 Lentes convergentes**

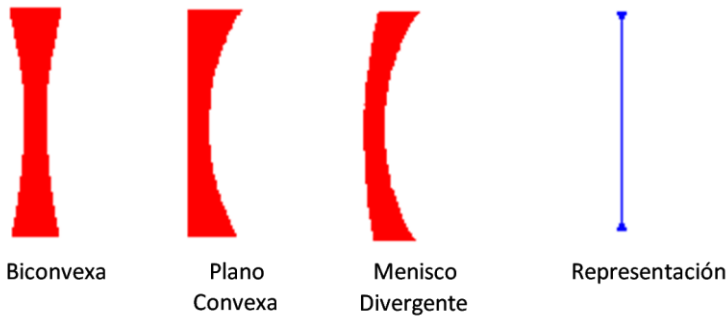


Observa en la figura 10, que la lente 2, tiene menor distancia focal que la 1. Decimos, entonces, que la lente 2 tiene mayor potencia que la 1.

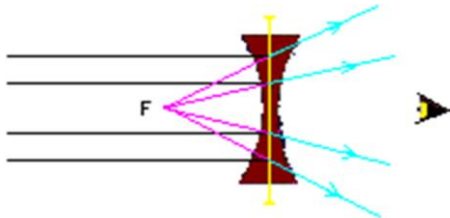
La potencia de una lente es la inversa de su distancia focal y se mide en dioptrías si la distancia focal la medimos en metros.

## 2.7.2 Tipos De Lentes Divergentes

**Figura 11 Lentes divergentes**



**Figura 12 Reflexión en una lente**



En el caso de la reflexión difusa los rayos son reflejados en distintas direcciones debido a la rugosidad de la superficie

Si miramos por una lente divergente da la sensación de que los rayos proceden del punto F. A éste punto se le llama foco virtual. En las lentes divergentes la distancia focal se considera negativa ver figuras 11 y 12.

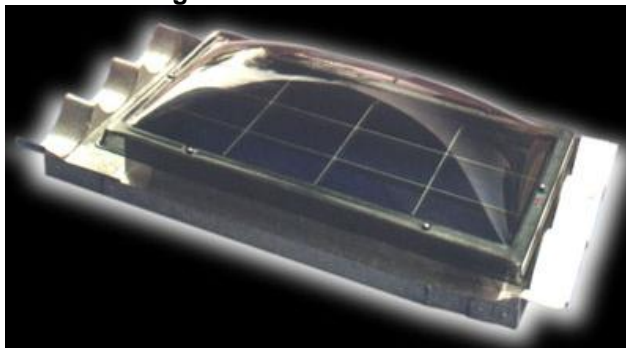
### 3 TECNOLOGIA USADA PARA EL SISTEMA DE ILUMINACION.

#### 3.1 CAPTURA DE LA LUZ.

Los domos son una tecnología utilizada para proveer en el día, de luz natural algunas zonas dentro de las casas o edificaciones que tienen que utilizar durante el día luz artificial convencional ya que no tienen entradas de la luz solar.

Los domos son fabricados en acrílico ver figura 13, manteniendo las mismas propiedades ópticas, mecánicas y físicas de las láminas acrílicas, siendo la mejor alternativa para el cubrimiento de espacios abiertos, en diferentes formas, alturas y áreas. Algunos tipos de domos comunes tienen forma de burbuja, piramidal, bóveda y curvado en frío.

Figura 13 Domo en acrílico

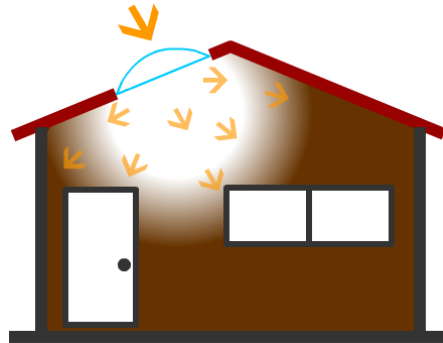


Las características principales que reúnen los domos son:

- Eliminación del rayo Ultravioleta.
- Eliminación de rayos IR generadores del Calor.
- No crea sombras ya que los domos trabajan como un sistema
- No decolora materiales ni contribuye a la degradación de alimentos.
- Alta resistencia a Cargas.
- Alta resistencia a Ráfagas de Viento
- Ahorro por Iluminación Eléctrica, permitiendo apagar las lámparas durante la mayor parte de las horas del día.
- Eficiencia en el diseño al realizar cada Proyecto según la ubicación Geográfica del mismo, para aprovechar la incidencia solar al máximo.
- Cada proyecto es calculado según los parámetros de iluminación requerida por el cliente
- Por su vida útil de 10 años garantizada en los acrílicos, permite una recuperación de la Inversión muy competitiva por debajo de los 13 meses.

Los Domos Claros permiten la entrada directa de los rayos del sol, produciendo la dañina concentración del foco luminoso figura 14. Pero este sistema se acomoda perfectamente a la idea de este proyecto la cual es capturar la luz solar, concentrándola en un solo punto para luego ser transmitida por fibra óptica.<sup>10</sup>

**Figura 14 Foco luminoso generado por un domo**



### **3.1.1 Tecnología Raybender.**

Esta tecnología es empleada por la empresa Solatube para dar una mayor eficiencia al sistema de captura de la luz bajo las propiedades de:

- Lentes de domo patentadas para la mejor captura de la luz natural.
- Redirige la luz con menor ángulo y rechaza la que incide con mayor intensidad (verano).
- Iluminación garantizada durante todo el día.

Esta tecnología es una cualidad de la cúpula que nos permite captar la luz difusa y concéntrala en el interior del tubo aumentando así su rendimiento en días nublados e incluso en invierno cuando hay poca iluminación solar.

Estos domos están hechos de material acrílico que es resistente a impactos y rayos UV clasificado como material CC2, tiene 0'32 cm de grosor, una transmisión de luz visible del 92% y de sólo 0'3% de U.V.

La tecnología de captura de la luz solar con domos también cuenta con la tecnología LightTracker que aumenta en un mayor grado de eficiencia la captura de la luz dando así sistemas más óptimos y más confortables al usuario.<sup>11</sup>

La tecnología LightTracker tiene como beneficios:

- Reflector patentado en el interior del domo.
- Intercepta y redirecciona la luz solar de menor ángulo (invierno).

<sup>10</sup>Domos prismáticos. Luz natural – ahorro de energía. México. Agosto 14 de 2009. [en línea]

<sup>11</sup>Catalogo Solatube. México. Septiembre 23 de 2009 [en línea]

- Aumenta la cantidad de luz que entra por el tubo.
- Prestaciones insuperables durante todo el año.

Cuando se diseña un sistema de iluminación natural se debe tener en cuenta las propiedades del sistema y también garantizar la comodidad de iluminación para las personas que lo usan, asegurando para estas un sentimiento de confort y asegurar que la luz no sea afectante para su salud.

La tecnología aquí propuesta tiene las ventajas de ser natural y por ende no contamina el medio ambiente, no genera calor y tiene protección contra los rayos gama y U.V. siendo estos últimos de carácter perjudicial para la salud del ser humano. Además de todo esto debemos de tener en cuenta que un sistema de iluminación debe de poseer ventajas como:

- Crear un mejor ambiente.
- La luz no destiña.
- No transmitir calor.
- Ahorrar en gastos de energía.
- Entre mucha más luz natural.
- No hayan obras constructivas.
- Tener diámetros pequeños.
- Estar libre de mantenimiento.
- Repeler los rayos UV.
- Ser muy estético.
- Libre de condensación.
- Dar garantía de fábrica.

### **3.1.2 Conceptos básicos que debemos conocer.**

- La definición de la Luz, como las radiaciones que son capaces de excitar la retina humana.
- La Luz no se ve (radiación), lo que se ve son los objetos iluminados
- El ojo humano permite ver gracias a unas células alojadas en la retina:
  - ✓ Células foto receptoras denominadas bastoncillos (130 millones) que reaccionan ante la luz tenue y no perciben el color. Actúan cuando la luminancia es baja (noche)
  - ✓ Células que distinguen las diferentes longitudes de onda de los diferentes colores, denominadas conos (8 millones). Actúan cuando la luminancia es alta (día)
  - ✓ Visión Fotópica. ver anexo A
  - ✓ Visión Escotópica. ver anexo A

### **3.2 ¿POR QUÉ USAR LUZ NATURAL?**

Principalmente por ahorro energético y por dar bienestar personal, pero también debemos ser conscientes del impacto ambiental al usar elementos que no son reciclables y son de poco tiempo de vida útil. El uso de lámparas incandescentes es un gasto exagerado de energía en el simple hecho de calentar un filamento el cual tiene como tiempo de vida un aproximado de 1000 horas de uso, las lámparas fluorescentes tienen una vida media de 7500 horas, ¿pero qué pasa con todos estos elementos una vez que son obsoletos? ¿Qué pasa con el medio ambiente? ¿Cuánto cuesta la generación de la electricidad necesaria para dar funcionamiento a estos elementos que no siempre son eficientes? Estas preguntas nos las debemos hacer al momento de considerar en usar un sistema de iluminación natural, debido a que estos tienen un tiempo de vida mucho mayor y con costos de generación de energía iguales a cero o casi cero. En el caso de este proyecto la generación de energía será con un costo inferior al 10% del consumo de una lámpara fluorescente, ya que solo requiere de alimentación para el circuito de control y el sistema alterno de iluminación y con un tiempo de vida promedio de 50000 horas, siendo casi 6 años de vida útil.

### **3.3 TRASPORTE DE LA LUZ.**

El transporte de la luz se realiza con un cable de fibra que tiene 16 hilos de fibra cada uno de 0,7mm.

La iluminación por fibra óptica, es actualmente, la que puede proporcionar la luz más intensa en interiores comparándola con los dispositivos de iluminación que se utilizan generalmente. El principal objetivo del sistema de iluminación basado en fibra óptica es conducir la luz procedente de un colector de luz solar y conducir las, a través de un haz de fibras ópticas que termina en un elemento dispersor ubicado en los recintos interiores que se quieren iluminar. Estos dispersores pueden tener forma circular, lineal, puntual o de panel, y puede ser de distintos tamaños y dimensiones dependiendo la aplicación requerida.

En los haces de fibra óptica hay cierta pérdida de intensidad con relación a la longitud o distancia. Normalmente no se aconseja utilizar haces de fibra óptica de una longitud superior a 15 metros, ya que por una parte se pierde intensidad y por otra el precio se hace un factor determinante. Una de las ventajas de la fibra óptica es que proporciona luz fría, y por tanto es ideal en aplicaciones donde los sistemas que puedan emitir calor sean un inconveniente.

La fibra óptica utilizada en iluminación utiliza hilos de fibra con diámetros iguales o superiores a los 0,7mm empaquetados en una cubierta de pvc negra la cual puede contener entre 12 y 75 hilos<sup>12</sup>

### **3.4 DISPERSOR DE LA LUZ.**

Un colimador es un sistema que a partir de un haz (de luz, de electrones, etc.) divergente obtiene un "haz" paralelo. Sirve para homogeneizar las trayectorias o rayos que, emitidos por una fuente, salen en todas direcciones y obtiene un chorro de partículas o conjunto de rayos con las mismas propiedades.

Los colimadores ópticos suelen estar formados fundamentalmente por un espejo parabólico, unas lentes y algunos diafragmas. En el caso de los colimadores para chorros de partículas elementales cargadas se emplean campos eléctricos y magnéticos y diafragmas. Para el caso de partículas neutras se utilizan diafragmas para impedir el paso de partículas que se separan de la dirección elegida y algunos filtros absorbentes para eliminar ciertos rangos de energía.

Un colimador es, por definición, un instrumento de precisión para una tarea especial. El objetivo de la colimación es hacer que el eje óptico de cada lente o espejo coincida con el rayo central del sistema, un láser colimador debe lograr un haz así. La unidad debe ser ligera y robusta y estar hecha con precisión para acoplarse a los tubos standard. Debe crear un punto pequeño y muy visible, de día o de noche, a distancias encontradas generalmente en el camino de un telescopio. Además, el haz no debe salirse del eje o transformarse en un parche difuso de luz con los cambios de temperatura, como puede suceder con algunos diodos láser.

Las características de los colimadores y las referencias utilizadas para el diseño del sistema de dispersión se seleccionaron según sus fichas técnicas ver anexo c.

### **3.5 DIODOS LED.**

El LED es un tipo especial de diodo, que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica, emite luz.

Existen diodos LED de varios colores y dependen del material con el cual fueron construidos. Hay de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo, entre otros.

Eléctricamente el LED se comporta igual que un diodo de silicio o germanio.

---

<sup>12</sup>INFAINMON. Visión artificial: especialistas en visión artificial. España. Octubre 13 de 2009 [en línea]

Si se pasa una corriente a través del diodo semiconductor, se inyectan electrones y huecos en las regiones P y N, respectivamente.

Dependiendo de la magnitud de la corriente, hay recombinación de los portadores de carga (electrones y huecos).

Hay un tipo de recombinaciones que se llaman recombinaciones radiantes. La relación entre las recombinaciones radiantes y el total de recombinaciones depende del material semiconductor utilizado (GaAs, GaAsP, y GaP)

Dependiendo del material de que está hecho el LED, será la emisión de la longitud de onda y por ende el color y debe de escogerse bien la corriente que atraviesa el LED para obtener una buena intensidad luminosa y evitar que este se pueda dañar.

Material	Longitud de onda de emisión en Angstroms (Å)	Color
GaAs: Zn	9100	Infrarrojo
GaAsP.4	6500	Rojo
GaAsP.5	6100	Ambar
GaAsP.85:N	5900	Amarillo
Ga:P	5600	Verde

El LED tiene un voltaje de operación que va de 1.5 V a 2.2 voltios aproximadamente y la gama de corrientes que debe circular por él está entre los 10 y 20 miliamperios (mA) en los diodos de color rojo y de entre los 20 y 40 miliamperios (mA) para los otros LEDs.<sup>13</sup>

El funcionamiento físico consiste en que, en los materiales semiconductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor.

Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo. Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a "ocupar" los huecos, "cayendo" desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa o "direct bandgap" con la energía correspondiente a su banda prohibida. Esto no quiere decir que en los

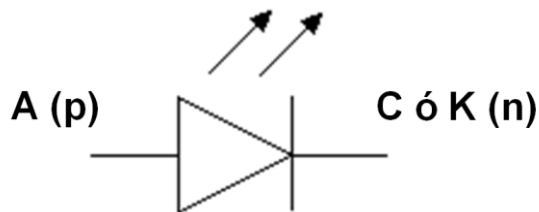
<sup>13</sup> CONSUMER EROSKI. Diodos LED: Revolución en la luz. España. Marzo 28 de 2009 [en línea].

demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta o "indirect bandgap") no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el Nitruro de Galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el Silicio).

La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y sólo es visible en diodos como los LEDs de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible.

En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o radiación ultravioleta. En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación ultravioleta, se puede conseguir aprovechar esta radiación para producir radiación visible, mediante sustancias fluorescentes o fosforescentes que absorban la radiación ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible.

**Figura 15 Representación simbólica del diodo LED**



El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes. Aunque el plástico puede estar coloreado, es sólo por razones estéticas, ya que ello no influye en el color de la luz emitida.

**Tabla 8 Compuestos empleados en la construcción de LED.**

Compuesto	Color	Long. de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890nm



Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo, naranja y amarillo	630nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	555nm
Nitruro de galio (GaN)	Verde	525nm
Seleniuro de zinc (ZnSe)	Azul	
Nitruro de galio e indio (InGaN)	Azul	450nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480nm
Diamante (C)	Ultravioleta	
Silicio (Si)	En desarrollo	

### 3.5.1 Beneficios De La Luz LED De Alta Potencia.

Son muchos los beneficios de la luz LED de alta potencia, pueden tener una duración de hasta 100.000 horas, ya que no tienen filamentos, este hecho hace que no se fundan como lo hacen las tradicionales bombillas. Estos dispositivos de estado sólido son muy resistentes a los golpes, todo son ventajas.

Día a día, estos emisores de luz o diodos ganan terreno a la iluminación tradicional que todos conocemos, sobre todo porque las ventajas que nos presentan son muchas y entre una de esas, su rendimiento lumínico, que es muy notable.

Como curiosidad sobre esta nueva forma de iluminación, se comenta que acaba de salir al mercado una nueva serie de estas especiales bombillas con una capacidad de 140 lúmenes por vatio, realmente una gran iluminación.

Estos nuevos LEDS no emiten ultravioletas, ni tampoco infrarrojos y además no calientan la superficie a la que iluminan, pero para nosotros la mejor ventaja es su reducido consumo y su alta eficiencia. Una bombilla emplea sólo un 10% de cada

vatio para iluminar, mientras que el resto es calor pero en los LEDS, es totalmente lo contrario, un 90% de iluminación y un 10% de calor.

Además otra cualidad es que no tiene pérdidas por la reflexión, los sistemas como los microicos necesitan de reflectores para concentrar la luz al lugar donde queremos iluminar, lo que supone perder un 60% de efectividad, mientras que el LED no precisa estos sistemas y la luz puede ser dirigida a la zona que queremos iluminar con una eficiencia del 90%.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup>Beneficios de la luz LED de alta potencia. Madrid, España. Febrero 23 de 2006 [en línea]

## 4 DISEÑO DEL MODELO A ESCALA.

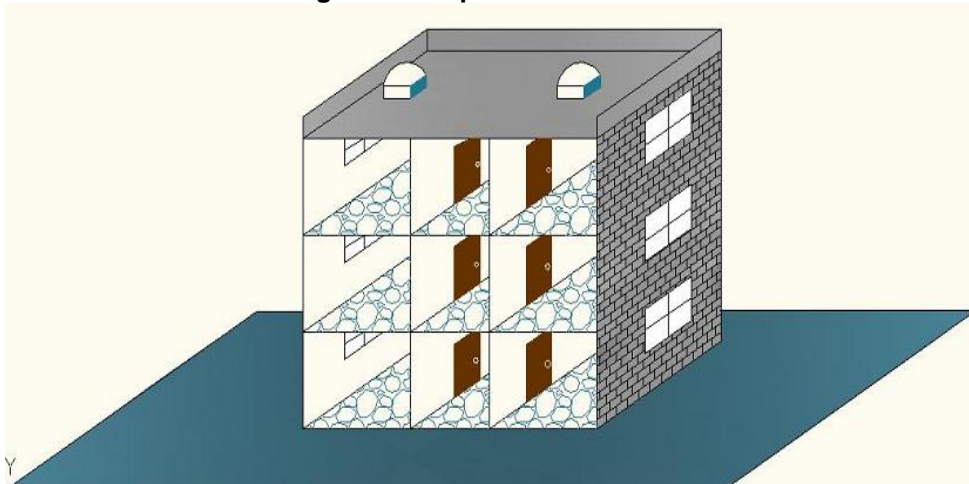
En la realización del modelo a escala se hicieron los siguientes diseños:

- Diseño del modelo
- Distribución de la red de fibra óptica
- Diseño del circuito electrónico

### 4.1 DISEÑO DEL MODELO A ESCALA.

En el proyecto se construye un modelo a escala de un edificio de tres pisos al cual se le tiende una red de fibra óptica para iluminar el interior de las oficinas, el diseño incluye captura, transporte, dispersión de la luz, y además un circuito de control que mantiene la intensidad de la luz en el interior estable cuando la luz en el exterior no permite alcanzar los niveles mínimos de iluminación en el interior de las oficinas.

Figura 16 Esquema del modelo.



### 4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

Para el diseño de la red de iluminación se tuvieron en cuenta las normas RETIE, artículo 16 en el cual se presentan los niveles de iluminancia que debe tener cada área a iluminar dependiendo de la actividad que se desarrolle en dicha actividad. Ver anexo B

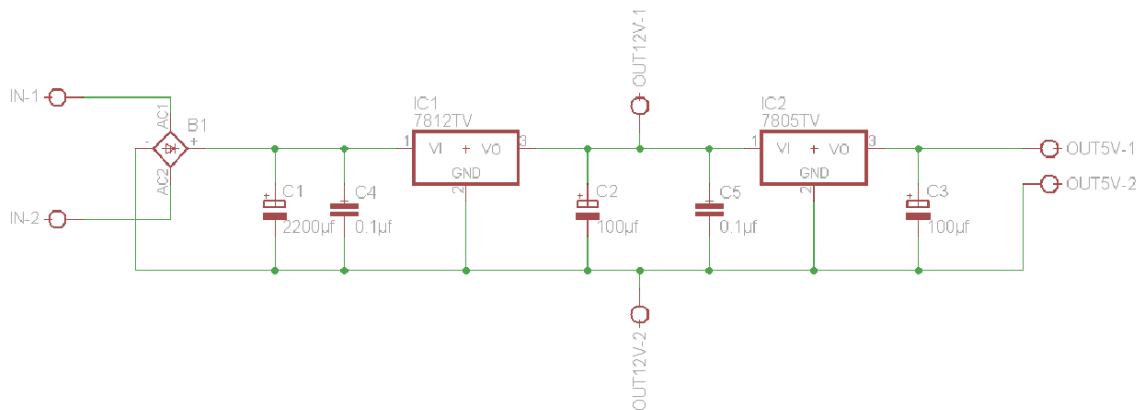
### 4.3 DISEÑO ELECTRÓNICO.

El diseño electrónico se compone de dos partes, el primero es el circuito de potencia del cual se generan los voltajes de salida y el segundo es un circuito de control que garantiza la iluminación en el interior en momentos donde la luz ambiente no cumple con los niveles de iluminancia.

#### 4.3.1 Diseño del circuito de potencia.

Para la alimentación del circuito de control se diseñó un circuito de potencia con voltajes de salida de 5 y 12V, teniendo en cuenta los voltajes y las corrientes de consumo de los diferentes dispositivos utilizados para el control.

Figura 17 Circuito de potencia



Características del circuito de potencia:

- Voltaje de entrada 110v
- Voltaje salida transformador 12v
- Voltaje entrada regulador 16.97v
- Regulador de voltaje fijo
- Salida de corriente de 2A
- Voltajes de salida 5 y 12v.

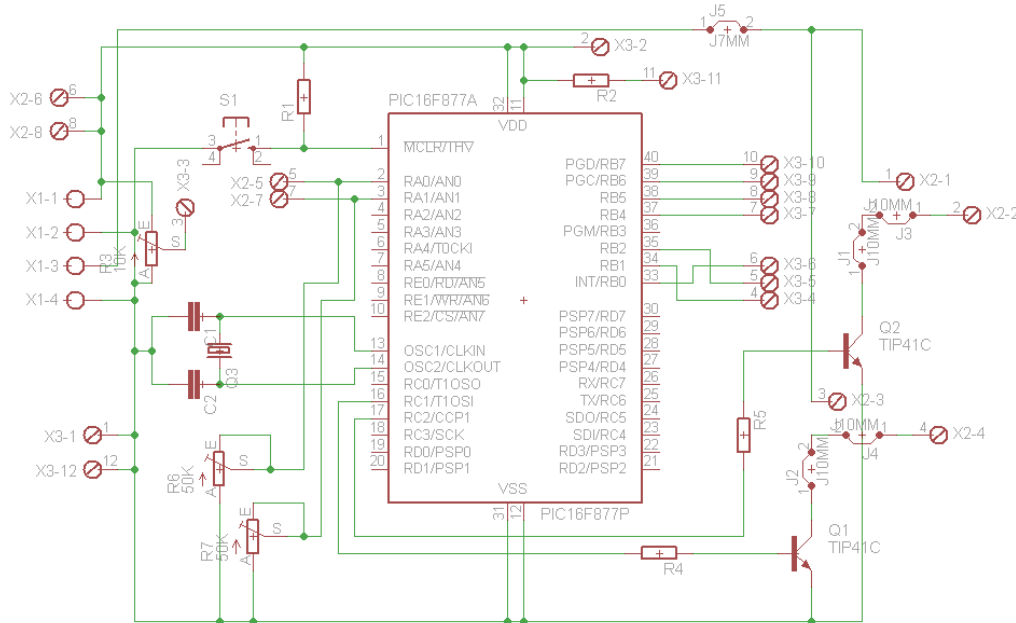
#### 4.3.2 Diseño del circuito de control.

El circuito de control se diseña con un microcontrolador Pic 16f877A, ver figura 18, el cual se encarga de hacer una comparación de dos señales entregadas por dos sensores fotoeléctricos ubicados uno afuera del edificio y otro dentro del mismo.

El sensor exterior se ubica en la azotea del edificio cerca de los domos y se encarga de medir los niveles de iluminación o luxes entregados por el sol directa o indirectamente.

El sensor interno se encarga de estar constantemente censando la intensidad de luz en el interior de las habitaciones para así garantizar a los usuarios una iluminación promedio de 1300 lux, debido a que por debajo de esta el ojo siente cansancio y por encima sentiría estar encandelillado. Ya que el ojo es un órgano tan sensible que es capaz de detectar hasta los mas mínimos cambios de intensidad lumínica y allí es donde entran a trabajar los bastones y los conos.

**Figura 18 Esquema del circuito impreso.**



#### 4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CIRCUITO DE CONTROL.

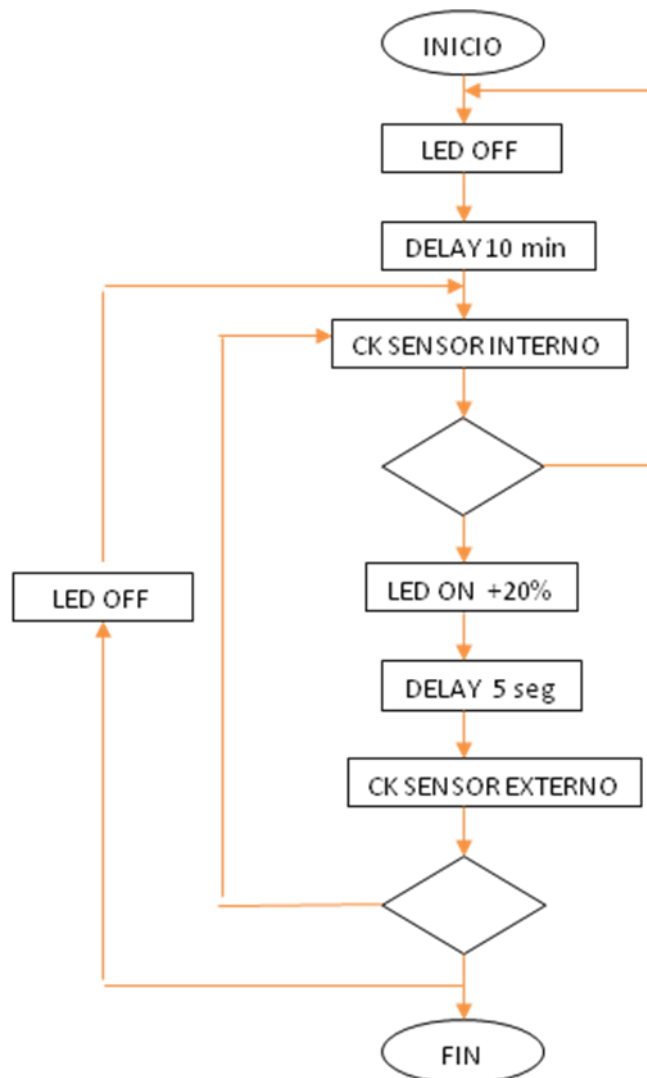
El circuito de control es el encargado de mantener una iluminación constante durante todo el día, sin verse afectada por cambios en el exterior, cambios como nubes, principios de lluvia o incluso la llegada de la noche.

El sistema se encarga de estar sensando en el interior y comparando con el exterior para tomar la determinación de si es necesario encender el sistema de iluminación artificial LED. Al estos últimos se de alta potencia el sistema se diseño con un encendido proporcional a la cantidad de luz necesaria en el interior, debido a que encenderlos al 100% me puede generar picos de corriente que me afecten

todos los componentes electrónicos. Además es más factible encender proporcionalmente ya que solo hasta que llegue la noche es que el sistema debe de trabajar con los LED al 100%, pero en el resto del día estos serian un complemento a la luz emitida por el sol.

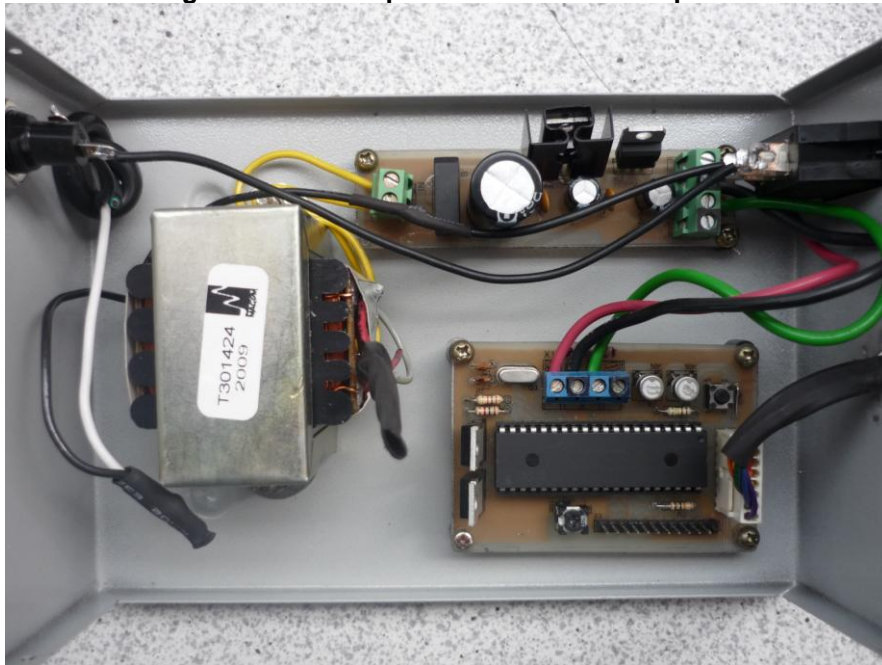
Una vez el sistema detecte en el exterior una cantidad especifica de luz, el sistema iniciara de nuevo un ciclo en el cual ira apagando lo LED proporcionalmente a como el sistema lo necesite.

Figura 19 Diagrama de flujo del proceso



Los circuitos se disponen en una caja metálica ver figura 20, la cual protege los circuitos del polvo la humedad y demás factores que afectan su correcto funcionamiento

**Figura 20 Vista superior del circuito completo**



## **5 VALIDACION DEL MODELO**

Para la validación del modelo se tuvieron en cuenta mediciones utilizando un luxómetro, con el cual se realizaron mediciones de la luz ambiente que arrojaron los siguientes resultados

Para la validación del modelo se seleccionaron de la maqueta dos oficinas la primera ubicada en el tercer piso y la otra en el primero, siendo la primera la más cercana a el elemento que captura la luz y el segundo el más lejano, la maqueta se expone a la luz solar en diferentes horas del día con intensidades de luz diferentes. Utilizando un fluxómetro se realizan las mediciones tanto en el exterior como en el interior de las dos oficinas obteniendo los siguientes resultados

La tabla presenta los valores promedios que se obtuvieron durante la prueba, estos datos muestran la intensidad de la luz en para cada estado del tiempo. Allí podemos comprobar la eficacia del sistema debido a que sus valores son muy reales a los de entrada, pero encontramos en la salida una diferencia debido al

proyecto ser una maqueta y los ángulos llegar hasta los puntos límites, se pierde un poco las propiedades de esta. Además el sistema debe de dar también es efectividad y no máximos de iluminancia debido a que esta entrada podría afectar al ojo haciéndolo estar encandelillado, esto se presenta en ambientes abiertos donde el ojo no es capaz de enfocar un objeto debido a la gran cantidad de conos que inundan el ojo por el exceso de luz. Caso contrario se presenta cuando en el sistema la iluminación no es optima o por ende es muy baja, entonces el ojo debe de poner a trabajar con mas fuerza a los bastones que son los encargados de dar la visión nocturna, en la cual no se distinguen colores si no un espectro de grises.

**Tabla 9. Medidas de la iluminancia**

estado del tiempo	promedio en lx	salida	
		piso 1	piso 3
día soleado	917.2	350	320
día claro	600.1	280	268
día oscuro	400.2	256	224
lámpara	560.6	251	239



## 6 CONCLUSIONES

- Este sistema es recomendable en lugares donde los tubos tragaluz son difíciles de instalar o las distancias son muy largas, ya que por fibra óptica podemos hacer transmisiones mucho mayores que con otros dispositivos.
- Para obtener una mejor calidad de luz es bueno usar fibras de un calibre alto para así tener un punto focal mucho mayor, ya que a mayor calibre mayor es el punto focal y por ende podemos amplificarlo con más facilidad y claridad.
- Mientras más claros sean los colores de los interiores mucho mejor se hace la distribución de la luz en los mismos. Es de gran importancia debido a que para este sistema mientras más reflectivos sean los espacios mucho más óptimo se hará la distribución de la luz y por ende también podrá ser más homogénea.
- Cuando se tienen bien calibrados los sensores de luz el circuito de control responderá a los cambios en la intensidad con mucha mayor precisión y efectividad. Pero se debe de tener cuidado para que el sistema no me responda también ante cualquier sombra producida por un ave u otro elemento.
- El implementar la fibra óptica en un modelo a escala hace más difícil su operación por que los ángulos que debe tomar la fibra alcanzan el límite, y por tal razón la fibra pierden muchas de sus propiedades de transmisión.
- Los domos son uno de los mejores sistemas para hacer la captura del sol, debido a que su forma nos está ayudando con el seguimiento de este y más en la zona en que vivimos que el sol nos cruza de oriente a occidente en 12 horas.

## 7 RECOMENDACIONES

- Al manipular la fibra óptica se debe tener cuidado a la hora de cortarla debido a que esto afecta a la luz emitida.
- Se debe tener cuidado a no exponer la fibra a altas temperaturas ya que este tipo de fibra trae en parte gran cantidad de plástico y podría derretirse.
- Evitar hacer ángulos críticos con la fibra, los iguales o inferiores a 90 grados, debido a que este se puede fracturar y perder sus propiedades.
- Para usar este tipo iluminaciones recomendable hacerlo en interiores de colores claros ya que estos reflejan la luz y mejoran el confort.
- Se debe de tener gran cuidado a la hora de utilizar colimadores, porque se rayan o ensucian con facilidad y esto afecta la dispersión de la luz.
- Para cada ambiente que se va a utilizar este sistema se debe variar la sensibilidad e de los sensores de luz ya que esto podría hacer que el circuito de control no funcione correctamente.
- Para trabajar con LED de alta potencia se recomienda usar suiches de potencia a alta frecuencia ya que estos cuando están encendidos al ciento por ciento la corriente puede llegar a ser mayor y haciendo que esta me genere problemas para el PIC o elementos no aptos para soportarla.
- Usar disipadores de calor en los transistores y los reguladores de voltaje ya que los LED pueden llegar aumentar la corriente incrementando la temperatura de estos.
- Para el circuito de potencia se debe usar protección de sobre corrientes (fusible), para evitar así que un sobre pico de línea afecte mi circuito de potencia.
- Los valores medidos en este prototipo pueden llegar a variar dependiendo de la cantidad de fibra, el calibre usado y la iluminación exterior.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENEFICIOS DE LA LUZ LED DE ALTA POTENCIA. [en línea]. Febrero 23 de 2006. < <http://www.genciencia.com/tecnologia/beneficios-de-la-luz-led-de-alta-potencia>>. Julio 19 de 2009
- CATALOGO SOLATUBE. [en línea]. 12 de Junio de 2006. <<http://www.electrotecnia.net/profesionales/docs/cats/catsolatube.pdf>>. Septiembre 23 de 2009
- CHOMYCS, B. Instalaciones de fibra optica. McGRAW HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.
- CONSUMER EROSKI. Diodos LED: Revolución en la luz. [en línea]. 9 de Enero de 2006.<<http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/hardware/2006/01/09/148391.php>>. Marzo 28 de 2009
- DOMOS PRISMÁTICOS. Luz natural – ahorro de energía. [en línea]. < <http://www.domosprismaticos.com.mx/>> Agosto 14 de 2009
- FRANCO, F-1. Teoria y metodos de diseño. [en línea]. 02 de Febrero de 2009. <<http://red.fau.ucv.ve:8080/tedete2/getfile?name=avance+taller+ii+02++02++2009>> Marzo 02 de 2009
- HADDOCK. Hormigón translucido. [en línea]. Noviembre 23 de 2004. <<http://www.estonova.com/?p=105>> Abril 20 de 2009.
- INFAIMON. Vision artificial: especialistas en visión artificial. [en línea]. 1999. <<http://www.infaimon.com/catalog/catalog.php?cat=277>>. Octubre 13 de 2009.
- JUSTO, Juan. Solatube, iluminación natural. <<http://www.aluoest.com.ar/solatube>> Marzo 27 de 2009.
- MUÑOZ, Ximena. Iluminación: fibra óptica. [en línea]. 22 de Noviembre de 2006. <[http://www.chilectra.cl/wps/wcm/connect/334675804821be59ab4effe3ca711f78/08\\_XimenaMu%C3%B1oz\\_DIAV.pdf?MOD=AJPERES](http://www.chilectra.cl/wps/wcm/connect/334675804821be59ab4effe3ca711f78/08_XimenaMu%C3%B1oz_DIAV.pdf?MOD=AJPERES)>. Marzo 03 de 2009

- PARANS. Luz solar por fibra óptica. [en línea]. Noviembre 01 de 2006. <<http://blog.is-arquitectura.es/2006/11/01/parans-transportando-luz-solar-en-tu-casa/>> Marzo 12 de 2009.
- PATTINI, Andrea. Luz Natural e Iluminación de Interiores. [en línea]. 2008. <<http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap11.pdf>> Marzo 16 de 2009
- TECNOSOLAR. Iluminación natural. [en línea] Abril de 2007<[http://www.asolanosolar.com/iluminaci%C3%B3n\\_natural](http://www.asolanosolar.com/iluminaci%C3%B3n_natural)> agosto 14 de 2009
- TKNIKA. Curso de energía solar fotovoltaica. 2007. Marzo 10 de 2009

## ANEXO A

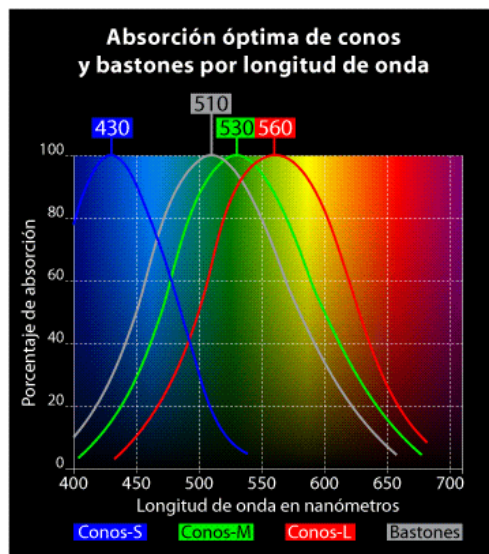
### QUÉ SON LA VISIÓN ESCOTÓPICA Y FOTÓPICA.

Los bastones son sensibles a niveles muy bajos de iluminación y son los responsables de nuestra capacidad de ver con poca luz (visión escotópica). Contienen un pigmento cuyo máximo de sensibilidad se halla en la zona de los 510 nanómetros (o sea, la zona de los verdes). Al pigmento de los bastones, la rodopsina, se la suele llamar 'púrpura visual', ya que cuando los químicos logran extraerlo en cantidad suficiente, tienen una apariencia purpurea.

La visión escotópica carece de color, ya que una función de sensibilidad con un espectro único es ajena al color, por lo que la visión escotópica es monocromática.

Los conos son los que proporcionan la visión en color. Hay tres clases de conos. Cada una de ellos contiene un pigmento fotosensible distinto. Los tres pigmentos tienen su capacidad máxima de absorción hacia los 430, 530 y 560 nanómetros de longitud de onda, respectivamente. Por eso se los suele llamar "azules", "verdes" y "rojos". No es que los conos se llamen así por su pigmentación, sino por el supuesto 'color de la luz' al que tienen una sensibilidad óptima.

**Figura 21** absorción óptima de conos y bastones por longitud de onda.



Esta terminología es bastante desafortunada, ya que las luces monocromas de 430, 530 y 560 nm. de longitud de onda no causan realmente la percepción de azul, verde y rojo, sino la de violeta, azul verdoso y amarillo verdoso ver figura 13. Por eso, las denominaciones conos cortos, conos medios y conos largos (por el tipo de longitud de

onda al que son sensibles comparativamente) es más lógica (las abreviaciones en inglés son: **S-cones** (cortos), **M-cones** (medios) y **L-cones** (largos)).

La existencia de tres funciones de sensibilidad espectral proporciona la base de la visión en color, ya que cada longitud de onda causará una proporción única de respuestas en los conos sensibles a longitudes cortas, medias y largas. Son los conos quienes nos proporcionan la visión en color (visión fotópica), que permite distinguir notablemente bien pequeños cambios en la composición de longitudes de onda de una luz.

## **Anexo B**

### **Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE**

#### **ARTÍCULO 16º. ILUMINACIÓN**

La iluminación de espacios tiene alta relación con las instalaciones eléctricas, ya que la mayoría de las fuentes modernas de iluminación se basan en las propiedades de incandescencia y la luminiscencia de materiales sometidos al paso de corriente eléctrica. Una buena iluminación, además de ser un factor de seguridad, productividad y de rendimiento en el trabajo, mejora el confort visual y hace más agradable y acogedora la vida. Si se tiene en cuenta que por lo menos una quinta parte de la vida del hombre transcurre bajo alumbrado artificial, se comprenderá el interés que hay en establecer los requisitos mínimos para realizar los proyectos de iluminación, los cuales se presentan a continuación.

Está comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. No se pueden observar reglas fijas para la elección del color apropiado con el fin de conseguir un efecto determinado, pues cada caso requiere ser tratado de una forma particular. Por tanto, un buen diseño luminotécnico es fundamental para cumplir con los factores deseados en la iluminación de cada área.

##### **16.1 Diseño de Iluminación.**

El diseñador de una instalación eléctrica de uso final deberá tener en cuenta los requerimientos de iluminación de acuerdo con el uso y el área o espacio a iluminar que tenga la edificación objeto de la instalación eléctrica, un diseño de iluminación debe comprender las siguientes condiciones esenciales:

- a. Suministrar una cantidad de luz suficiente para el tipo de actividad que se desarrolle.
- b. El método y los criterios de diseño y cálculo de la iluminación deben asegurar los valores de coeficiente de uniformidad adecuados a cada aplicación.
- c. Controlar las causas de deslumbramiento.
- d. Prever el tipo y cantidad de fuentes y luminarias apropiadas para cada caso particular teniendo en cuenta sus eficiencias lumínicas y su vida útil.
- e. Utilizar fuentes luminosas con la temperatura y reproducción del color adecuado a la necesidad.

f. Propiciar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica requerida para iluminación, utilizando fuentes de alta eficacia lumínica e iluminando los espacios que efectivamente requieran de iluminación.

g. Atender los lineamientos del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

h. Los sistemas de control de las lámparas, deben estar dispuestos de manera tal que se permita el uso racional y eficiente de la energía, para lo cual debe garantizarse alta selectividad de las áreas puntuales a iluminar y combinar con sistemas de iluminación general.

## **16.2 Instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de iluminación.**

Los sistemas de iluminación deben cumplir los siguientes requisitos:

a. Debe existir suministro ininterrumpido para iluminación en sitios y áreas donde la falta de ésta pueda originar riesgos para la vida de las personas, como en áreas críticas y en los medios de egreso para evacuación de la edificación.

b. No se permite la utilización de lámparas de descarga con encendido retardado en circuitos de iluminación de emergencia

c. Los alumbrados de emergencia equipados con grupos de baterías deben garantizar su funcionamiento por lo menos 60 minutos después de que se interrumpa el servicio eléctrico normal.

d. Los residuos de las lámparas deben ser manipulados cumpliendo la regulación sobre manejo de desechos, debido a las sustancias tóxicas que puedan poseer.

e. En lugares accesibles a personas donde se operen máquinas rotativas, la iluminación instalada debe diseñarse para controlar los riesgos asociados al efecto estroboscópico.

f. Se deben atender las recomendaciones de mantenimiento y sustitución oportuna de las fuentes lumínicas cuando sus niveles de iluminación no garanticen los mínimos niveles requeridos.

g. Para efectos del presente Reglamento, en lugares de trabajo se debe asegurar el cumplimiento de los siguientes niveles de iluminancia, adoptados de la norma ISO 8995. El valor medio de iluminancia, relacionado en la Tabla 26 “Niveles de iluminancia aceptados para diferentes áreas y actividades”, debe considerarse como el objetivo de diseño, pero el requisito exigible es que el valor medido a la altura del sitio de trabajo se encuentre entre el rango del valor mínimo y el valor máximo.



	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
	Min.	Medio	Máx.
<b>Áreas generales en las edificaciones</b>			
Áreas de circulación, corredores	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	100	150	200
Vestidores, baños.	100	150	200
Almacenes, bodegas.	100	150	200
<b>Talleres de ensamble</b>			
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías de automotores	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	1000	1500	2000
<b>Procesos químicos</b>			
Procesos automáticos	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	100	150	200
Áreas generales en el interior de las fábricas	200	300	500
Cuartos de control, laboratorios.	300	500	750
Industria farmacéutica	300	500	750
Inspección	500	750	1000
Balanceo de colores	750	1000	1500
Fabricación de llantas de caucho	300	500	750
<b>Fábricas de confecciones</b>			
Costura	500	750	1000
Inspección	750	1000	1500
Prensado	300	500	750
<b>Industria eléctrica</b>			
Fabricación de cables	200	300	500
Ensamble de aparatos telefónicos	300	500	750
Ensamble de devanados	500	750	1000
Ensamble de aparatos receptores de radio y TV	750	1000	1500
Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos	1000	1500	2000
<b>Industria alimenticia</b>			
Áreas generales de trabajo	200	300	500
Procesos automáticos	150	200	300
Decoración manual, inspección	300	500	750
<b>Fundición</b>			
Pozos de fundición	150	200	300
Moldeado basto, elaboración basta de machos	200	300	500
Moldeo fino, elaboración de machos, inspección	300	500	750
<b>Trabajo en vidrio y cerámica</b>			
Zona de hornos	100	150	200
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas	200	300	500
Terminado, esmaltado, envidriado	00	500	750
Pintura y decoración	500	750	1000
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino	750	1000	1500
<b>Trabajo en hierro y acero</b>			
Plantas de producción que no requieren intervención manual	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	200	300	500
Plataformas de control e inspección	300	500	750

<b>Industria del cuero</b>			
Áreas generales de trabajo	200	300	500
Prensado, corte, costura y producción de calzado	500	750	1000
Clasificación, adaptación y control de calidad	750	1000	1500
<b>Taller de mecánica y de ajuste</b>			
Trabajo ocasional	150	200	300
Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	200	300	500
Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas	300	500	750
Maquinado y trabajo fino en banco, máquinas automáticas finas, inspección y ensayos	500	750	1000
Trabajo muy fino, calibración e inspección de partes pequeñas muy complejas	1000	1500	2000
<b>Talleres de pintura y casetas de rociado</b>			
Inmersión, rociado basto	200	300	500
Pintura ordinaria, rociado y terminado	300	500	750
Pintura fina, rociado y terminado	500	750	1000
Retoque y balanceo de colores	750	1000	1500
<b>Fábricas de papel</b>			
Elaboración de papel y cartón	200	300	500
Procesos automáticos	150	200	300
Inspección y clasificación	300	500	750
<b>Trabajos de impresión y encuadernación de libros</b>			
Recintos con máquinas de impresión	300	500	750
Cuartos de composición y lecturas de prueba	500	750	1000
Pruebas de precisión, retoque y grabado	750	1000	1500
Reproducción del color e impresión	1000	1500	2000
Grabado con acero y cobre	1500	2000	3000
Encuadernación	300	500	750
Decoración y estampado	500	750	1000
<b>Industria textil</b>			
Rompimiento de la paca, cardado, hilado	200	300	500
Giro, embobinado, enrollamiento peinado, tintura	300	500	750
Balanceo, rotación (conteos finos) entretreído, tejido	500	750	1000
Costura, desmote o inspección	750	1000	1500
<b>Talleres de madera y fábricas de muebles</b>			
Aserraderos	150	200	300
Trabajo en banco y montaje	200	300	500
Maquinado de madera	300	500	750
Terminado e inspección final	500	750	1000
<b>Oficinas</b>			
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	300	500	750
Oficinas abiertas	500	750	1000
Oficinas de dibujo	500	750	1000
Salas de conferencia	300	500	750
<b>Centros de atención médica</b>			
<i>Salas</i>			
Iluminación general	50	100	150
Examen	200	300	500
Lectura	150	200	300
Circulación nocturna	3	5	10
<i>Salas de examen</i>			
Iluminación general	300	500	750
Inspección local	750	1000	1500
<i>Terapia intensiva</i>			
Cabecera de la cama	30	50	100
Observación	200	300	500
Estación de enfermería	200	300	500
<i>Salas de operación</i>			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	10000	30000	100000
<i>Salas de autopsia</i>			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	5000	10000	15000
<i>Consultorios</i>			
Iluminación general	300	500	750
Iluminación local	500	750	1000
<i>Farmacia y laboratorios</i>			
Iluminación general	300	400	750
Iluminación local	500	750	1000

<b>Almacenes</b>			
<i>Iluminación general:</i>			
En grandes centros comerciales	500	750	
Ubicados en cualquier parte	300	500	
Supermercados	500	750	
<b>Colegios</b>			
<i>Salones de clase</i>			
Iluminación general	300	500	750
Tableros para emplear con tizas	300	500	750
Elaboración de planos	500	750	1000
<i>Salas de conferencias</i>			
Iluminación general	300	500	750
Tableros	500	750	1000
Bancos de demostración	500	750	1000
<i>Laboratorios</i>	300	500	750
<i>Salas de arte</i>	300	500	750
<i>Talleres</i>	300	500	750
<i>Salas de asamblea</i>	150	200	300