

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIAS Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARACTERIZACIÓN DE FIBRA ÓPTICA PARA ILUMINACIÓN NATURAL

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTRICO**

CHRISTIAN NELSON RODAS BALSECA

ing.christian.rodas@gmail.com

DIRECTOR: MG. GIOVANI SANTIAGO PULLA GALINDO

2016

DECLARACIÓN

Yo, Christian Nelson Rodas Balseca, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y la normatividad institucional vigente.

Christian Nelson Rodas Balseca

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Nelson Rodas Balseca, bajo mi supervisión

Mg. Giovanni Santiago Pulla Galindo

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias primero a Dios por las bendiciones que me da día a día, por permitirme culminar una etapa más en vida profesional.

Quiero agradecer a mi director de tesis por su enseñanza en la vida universitaria y por la guía en la elaboración de esta Tesis, también a mi compañero y amigo Luis González, por el proyecto que emprendimos juntos para alcanzar el título de Ingenieros eléctricos.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este Trabajo a mi Esposa, por su apoyo incondicional en todo momento durante la trayectoria de mi carrera.

A mis padres por su ejemplo y por criarme en valores que me permitieron alcanzar nuevas metas.

Y a toda mi familia por brindarme su cariño y darme ánimos para continuar.

“Con afecto, Christian”

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
Listado de Figuras	VIII
Listado de tablas	X
Lista de anexos.	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
Introducción.....	XIV
1 Capítulo 1. SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL CON FIBRA ÓPTICA	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL CON FIBRA ÓPTICA 1	
1.2.1 Conocimientos de Luminotecnia.	1
1.2.2 Tipos de sistemas de iluminación natural.	4
1.2.3 Componentes de un sistema de iluminación natural mediante fibra óptica	4
1.3 DEFINICIÓN Y UTILIDADES DE LA FIBRA ÓPTICA Y FILAMENTO DE FIBRA ÓPTICA.	7
1.3.1 Fibra Óptica.....	8
1.3.2 Filamento de Fibra	8
1.4 DISTRIBUCIÓN DE CANTIDAD DE DÍAS CON CIELO CLARO, NUBLADO Y PARCIALMENTE NUBLADO.	8
1.4.1 Irradiación Solar en el Ecuador.....	8
1.4.2 Utilización del Atlas.....	9
2 Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE BASADO EN EL TRANSPORTE DE LA LUZ NATURAL.	10
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.1.1 Sistemas de Transporte de Luz Natural Comerciales	10
2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE SISTEMAS COMERCIALES.	14
2.3 Métodos para el estudio de la fibra óptica plástica.	16
2.3.1 Mediciones de la distribución de potencia espectral.....	16
2.3.2 Pruebas de Transmitancia, reflectancia y absorbancia.....	17

3	Capítulo 3. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL Y PRUEBAS DE LABORATORIO EN LA UCACUE.....	18
3.1	introducción.....	18
3.1.1	Diseño del concentrador solar.....	18
3.1.2	Diseño del seguidor solar.....	19
3.2	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	20
3.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO DE UN CONCENTRADOR SOLAR.....	22
3.4	INSTRUMENTOS DE MEDICION de LABORATORIO.....	23
3.4.1	Luxómetro.....	23
3.4.2	Esfera de Ulbricht.....	23
3.4.3	Gonio spectro radiometer.....	24
3.4.4	VFL (visual fault locator) Localizador de fallas visual.....	25
3.5	PRUEBAS de LABORATORIO.....	25
3.5.1	Pruebas del filamento de fibra con el Luxómetro.....	26
3.5.2	Pruebas del filamento de fibra con la esfera de Ulbricht.....	27
3.5.3	Pruebas del filamento de fibra con el Goniopectorradiometer	28
4	Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	30
4.1	Resultados luxometro.....	30
4.2	Resultados esfera de ulbritch.....	31
4.3	Resultados goniofotometro.....	32
4.4	Comparación iluminación convencional vs resultados.....	33
4.4.1	Comparación del espectro Fotométrico.....	34
5	Conclusiones.....	36
6	Recomendaciones.....	37
	Referencias.....	38

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1 Consumo de energía eléctrica	1
Fig. 2 Flujo Luminoso	2
Fig. 3 Iluminancia en varios puntos	3
Fig. 4 Lente de Fresnel	5
Fig. 5 Filamento de Fibra	6
Fig. 6 Filtros	7
Fig. 7 Difusor	7
Fig. 8 Atlas Solar del Ecuador.....	9
Fig. 9 Himawari Systems	10
Fig. 10 Himawari Systems fibra óptica	11
Fig. 11 Sistema de iluminación Natural	11
Fig. 12 Cables de Fibra.....	12
Fig. 13 Modelo HSL.....	12
Fig. 14 Cables de Fibras	13
Fig. 15 SIFO	13
Fig. 16 Cables de Fibra.....	14
Fig. 17 Distribución del espectro	16
Fig. 18 Intensidad de luz y ángulo de incidencia	16
Fig. 19 Prueba de T,R,A en laboratorio	17
Fig. 20 Prototipo del concentrador solar.	18
Fig. 21 Ejes de movimiento del concentrador.....	19
Fig. 22 Circuito esquemático del seguidor solar.	19
Fig. 23 Prototipo del concentrador solar construido en aluminio.	20
Fig. 24 Impresión 3D del concentrador solar.	20
Fig. 25 Prototipo del concentrador solar construido con plástico ABS. .	21
Fig. 26 Circuito electrónico del seguidor solar.	21
Fig. 27 Luxómetro	23
Fig. 28 Esquema de la Esfera de Ulbricht	24
Fig. 29 Gonio fotómetro.....	24
Fig. 30 Localizador de fallas visual.....	25
Fig. 31 Pruebas con el luxómetro.....	26
Fig. 32 Prueba esfera de ulbritch.....	27
Fig. 33 Prueba esfera con el Goniopetroradiometer	28
Fig. 34 (a) Disposición 4 fibras, (b) Disposición 8 fibras,	30

Fig. 35 Gráfica dentro del espectro visible 4 fibras	31
Fig. 36 Gráfica dentro del espectro visible 8 fibras	32
Fig. 37 Luz emitida por el grupo de 8 fibras	33
Fig. 38 Grafica isolux, luz dispersa en el espacio con 8 fibras	33
Fig. 39 flujo luminoso	34
Fig. 40 Distribución de la luz lámpara fluorescente.....	35
Fig. 41Distribución de la luz difusor.....	35

LISTADO DE TABLAS

TABLA I Tabla comparativa	15
TABLA II Características de los elementos.....	22
TABLA III Promedio mensual de la Radiación incidente sobre una superficie acentuada o inclinada (kWh/m ² /day).....	26
Tabla IV Mediciones obtenidas con el Luxómetro	30
Tabla V Parámetros obtenidos en la esfera de ulbricht.	31
Tabla VI Parámetros obtenidos en el Goniómetro.....	32

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A. Pruebas de Laboratorio, Fotografías mediciones del Luxómetro

Anexo B. Pruebas de Laboratorio, Reporte Esfera de Ulbricht.

Anexo C. Pruebas de Laboratorio, reporte Goniospectroradiometer.

Anexo D. Programación del Seguidor solar, compilador para Arduino.

Anexo E. Distribución de luz luminaria compacta fluorescente.

RESUMEN

A nivel mundial, el consumo de energía eléctrica por iluminación es uno de los problemas más tratados en todos los entornos de investigación ya sea en universidades como en los gobiernos estatales. La búsqueda de una solución que ayude, de tal manera que el consumo energético disminuya el impacto que tiene para la economía mundial y estatal, es la respuesta para desarrollar un sistema de iluminación que evolucione para alcanzar las exigencias actuales que sean más eficientes. Esa es la clave fundamental para el siguiente estudio.

Que información se tiene actualmente sobre un sistema de iluminación natural? En la actualidad empresas privadas en países desarrollados ya han dado un primer paso en la investigación de sistemas iluminación natural. La utilización de una fuente de energía inagotable como es la del sol, ha llevado a una serie de experimentos para poder canalizar esta fuente de luz a ciertas aéreas, donde el acceso de luz natural es imposible llegar por los diseños de construcción actual.

“La caracterización de la fibra óptica para iluminación natural”, de un filamento de fibra como medio de propagación de esta fuente de luz, ha llevado a una caracterización de qué tipo de fibra es la más conveniente para poder cumplir con este objetivo principal, que es el de iluminar aéreas carentes de luz natural.

La investigación propuesta busca dar a conocer la información del tipo de fibra que servirá para la aplicación objetiva de estos tipos de sistemas. Las pruebas que se realizaran son únicamente con las fibras adquiridas en el mercado internacional, variando la cantidad y su diámetro para obtener un mejor resultado.

La construcción y diseño de un prototipo para la iluminación natural es muy importante ya que va a mejorar el rendimiento al momento de la captación de la luz natural y así poder usarla de manera más eficiente. Sin embargo, la construcción de un prototipo no sería nada sin los equipos necesarios para probar que tan efectivo es el sistema completo. La “Universidad Católica de Cuenca” posee un laboratorio de Alumbrado que permitirá obtener resultados concretos sobre la utilización de un tipo de fibra para la iluminación en un sistema de iluminación natural.

Palabras Claves: iluminación natural, fibra óptica, filamento de fibra, transporte de luz.

ABSTRACT

Worldwide consumption of energy by lighting is one of the most discussed problems in all research environments both in universities, as well as in governments. The search for a solution that could help in such a way as to reduce the negative impact that energy consumption has on the world and economy, is the key for the development of a lighting system capable of evolving towards the current demanding standards of efficiency. This is the fundamental key for this study.

What information is available nowadays about natural lighting systems? Currently, private companies in developed countries have taken a first step towards the research on natural lighting systems. The possibility of using an infinite source of energy, such as the Sun, has led to several experiments which pursuets a way to transport the light source to some areas where the access is impossible due the current design in constructions.

“The characterization of fiber optics for natural lighting”, fiber filaments as a medium for the propagation of this light source, has led to a characterization of the most convenient type of fiber that can be used to achieve this, which is to light areas that do not receive this natural source.

This research proposal aims to provide information about the type of fiber which will be convenient for the implementation of these types of systems. Testing will be carried out only on fibers acquired in local markets, testing different quantities and diameters seeking for the best marks.

The design and construction of a prototype for natural lighting is very important because it will improve the performance since the moment of capturing natural light, and will make it possible to use it in an efficient way. However, the construction of a prototype would not be useful without the necessary equipment for testing the effectiveness of the complete system. The Catholic University of Cuenca possess a lighting laboratory that will allow us to obtain actual results of the use of a certain type of fiber for lighting, which will be used in a natural lighting system.

Keywords: Natural lighting, fiber optic, fiber filament, light transporting.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este tipo de investigaciones como la caracterización de fibra óptica para iluminación natural, se facilita, puesto que la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca cuenta con un laboratorio completo de alumbrado público y éste a su vez posee los equipos necesarios para poner a prueba nuestro sistema de iluminación natural completo, en el que la fibra óptica hace la función del transporte de la luz natural.

Para poner a prueba los filamentos de fibra óptica, se construyó un prototipo mediante impresión 3D, el cual cuenta de un colector de la luz proveniente del sol que es una lente de fresnell, esta luz captada es transportada mediante fibra óptica plástica y al final esta luz es dispersada mediante un difusor de vidrio, a este sistema se le aumento un seguidor solar en arduino para mejorar el desempeño de todo el sistema una vez acoplado.

En el proyecto entenderemos el funcionamiento conjunto de todos los elementos que conforman el sistema de iluminación natural mediante fibra óptica, además de las diferentes pruebas de luminotecnia en laboratorio a las que fue expuesto nuestro sistema, enfocándonos especialmente en el transporte de la luz natural la cual es encargada la fibra óptica

CAPÍTULO 1. SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL CON FIBRA ÓPTICA

1.1 INTRODUCCIÓN

En todos los países del mundo, el consumo energético por iluminación en ambientes, (áreas sociales, galerías, cafeterías, lobby, etc.) es importante ya que el desarrollo ha hecho que los sistemas de iluminación evolucionen para alcanzar las exigencias actuales que sean más eficientes.

Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
Oficinas	50 %
Hospitales	20-30 %
Industria	15 %
Colegios	10-15 %
Comercios	15-70 %
Hoteles	25-50 %
Residencial	10-15 %

Fig. 1 Consumo de energía eléctrica

(Fuente: Fenercom, 2006)

Con el análisis del cuadro estadístico Fig.1, que es usual en varios países europeos; nos da una idea hacia dónde vamos como país y en donde debemos trabajar para mejorar la eficiencia de iluminación y del consumo energético. (FENERCOM, 2006)

Para comprender mejor este capítulo daremos a conocer varios conceptos que se relacionan con los diferentes sistemas de iluminación que tienen en común el uso de la fibra óptica, también nos referimos a las definiciones más puntuales de luminotecnia y a los componentes del sistema de iluminación.

1.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL CON FIBRA ÓPTICA

Los niveles de iluminación permite definir el desempeño de un sistema de iluminación, a continuación definiremos varios parámetros que nos serán necesarios para poder realizar más adelante nuestra investigación.

1.2.1 Conocimientos de Luminotecnia.

Los siguientes conceptos de luminotecnia son aplicables en el punto de la investigación.

1.2.1.1 Flujo Luminoso:

Se determina flujo luminoso a la cantidad de energía radiante emitida en el espacio por una fuente luminosa en todas las direcciones y que produce sensación visual. Ejemplo, una

lámpara incandescente que consume una cantidad de energía, esta energía se transforma en energía radiante de lo cual solo una pequeña parte es apreciada por el ojo humano en forma de luz, mientras que el resto se pierde en forma de calor. (TABOADA, 1979, P65,66).

- Su unidad de medida según el sistema Internacional es el Lumen (lm)
- El flujo luminoso indica la potencia luminosa es propia de una fuente.

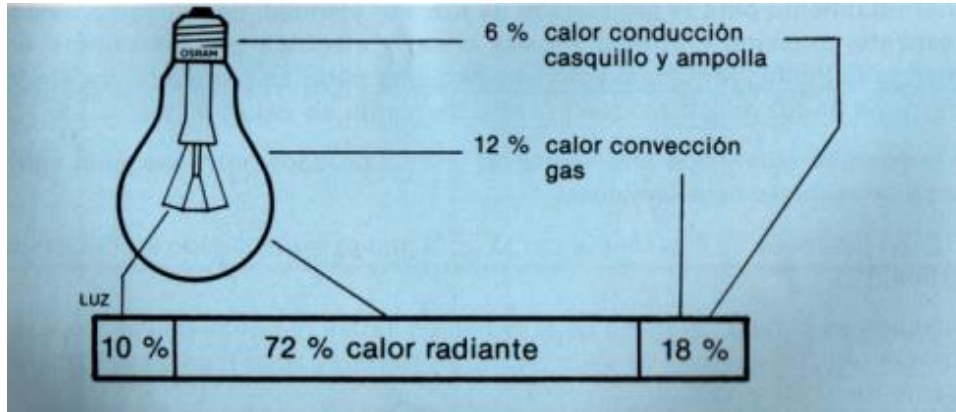


Fig. 2 Flujo Luminoso

(Fuente: (TABOADA, 1979, P65,66).)

1.2.1.2 Iluminancia:

“La iluminancia, se obtiene de la relación que existe entre el flujo luminoso que absorbe la superficie y su extensión. La Iluminancia se expresa por la letra E, siendo su unidad el “lux”. (TABOADA, 1979, P65,66).

En la siguiente fórmula se enuncia la iluminancia es:

$$E=\phi/S \quad \text{Ec.1}$$

“Se deriva que cuanto sea mayor el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminancia. La iluminancia es importante ya que con este parámetro valoramos el de iluminación en un puesto de trabajo”. (TABOADA, 1979, P65,66).

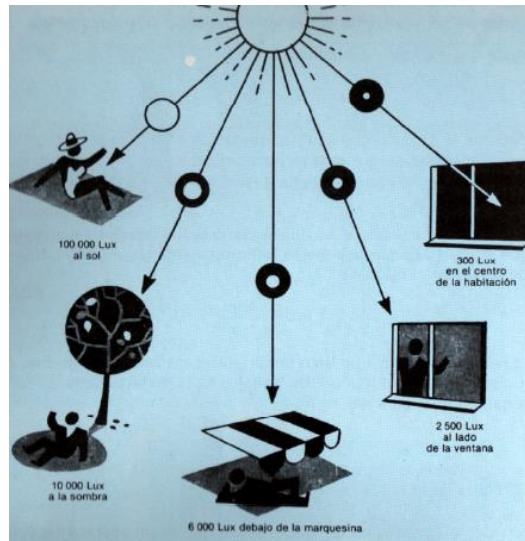


Fig. 3 Iluminancia en varios puntos

(Fuente: (TABOADA, 1979, P65,66))

1.2.1.3 Luminancia (L):

En un punto de una superficie, en cierta dirección, se demuestra como la relación de la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección procurada. La unidad de la luminancia es candela por metro cuadrado. (Cd/m²). Dentro del concepto de intensidad luminosa, la luminancia puede formularse como: (RETILAB, 2010, p 19,20)

$$L = (dI / dA) * (1 / \cos\Phi) \quad \text{Ec.2}$$

1.2.1.4 Luminaria:

La luminaria es un dispositivo de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, además poseen circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación. (RETILAB, 2010, p 19,20)

1.2.1.5 Lámpara:

Lámpara es una expresión genérica para denominar una fuente de luz elaborada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para indicar fuentes que presentan radiación en regiones del espectro adyacentes a la zona visible. Puede asemejarse a la definición de lámpara. (RETILAB, 2010, p 19,20)

1.2.1.6 Lumen (lm):

Es la unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente se fija de la potencia radiante; fotométricamente es el flujo luminoso expuesto dentro de una unidad de ángulo sólido por una fuente puntual que posee una intensidad luminosa pareja de una candela. (RETILAB, 2010, p 19,20)

1.2.2 Tipos de sistemas de iluminación natural.

Como una idea general los sistemas de iluminación no son más que un conjunto de dispositivos que en un determinado tipo de arreglo proporcionan niveles de iluminación distintos para diferentes aplicaciones.

Los sistemas de iluminación pueden clasificarse en dos grupos: convencionales y no convencionales.

Los sistemas convencionales de iluminación utilizan varios tipos de lámparas como, incandescentes, fluorescentes, de filamentos de carbono, etc. Sin embargo, este tipo de luminarias sólo una parte de la energía eléctrica se transforma en energía luminosa, y la demás en energía calórica. Tomando en consideración esto, en base a investigaciones se ha considerado que este tipo de iluminación es ineficiente. (León Guarnizo & Veintimilla Ludeña, 2013, P 7)

“En cambio, los sistemas no convencionales de iluminación se desarrollaron para iluminación ambiental, decorativa, puntual, funcional, etc. Este tipo de sistema tiene nuevas tecnologías que tienen un alto nivel de eficiencia, son de baja potencia y de intensidad lumínica aceptable”. (León Guarnizo & Veintimilla Ludeña, 2013, P 7)

1.2.3 Componentes de un sistema de iluminación natural mediante fibra óptica

A continuación enumeraremos varios elementos necesarios para que un sistema de iluminación natural sea funcional. Se evaluará cada elemento de una forma general para manejar conceptos y tener una idea del sistema.

1.2.3.1 Receptor de luz

La función principal del receptor es captar la luz del sol y posteriormente direccionar esa luz. La mejor forma de tener una mayor captación de la luz del sol es mediante la utilización de un lente de fresnel según (León Guarnizo & Veintimilla Ludeña, 2013, P 7), entre otras investigaciones.

Considerando este antecedente, la utilización de un lente de fresnel es fundamental puesto que su principio de funcionamiento es tener varios lentes disminuyendo su superficie esférica sin disminuir su potencia.



Fig. 4 Lente de Fresnel

(Fuente: propia, 2016).

1.2.3.2 Filamento de fibra

La fibra óptica es un medio de transmisión de luz empleado habitualmente en redes de datos; un hilo de fibra es un material transparente muy fino de vidrio o materiales plásticos. Cuando lo utilizamos para telecomunicaciones se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED. (FENERCOM, 2006)

“La ley de Snell (también llamada ley de Snell-Descartes) es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto” (Ley de Snell, 2016).

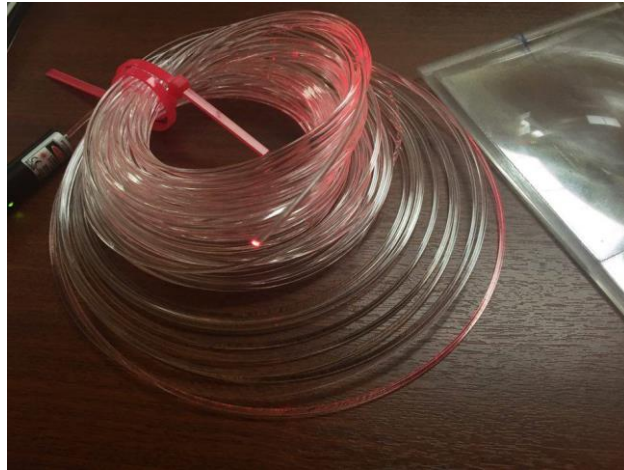


Fig. 5 Filamento de Fibra

(Fuente:propia, 2016).

Para iluminación natural, utilizamos el mismo principio de la ley de Snell, la única diferencia es que la fuente de luz no es a través de un láser o LED, sino que utilizamos la luz natural.

1.2.3.3 Filtros Ultravioleta e Infrarrojos UV/IR

Estos tipos de filtros absorben la radiación UV/NIR se utilizan con frecuencia en cámaras fotográficas para limitar la luz transmitida que se encuentran a diferentes longitudes de onda. Para nuestra aplicación este tipo de longitudes de onda no serían recomendables ya que esto produce calor y podría dañar el conector y la fibra como tal. De otra forma estos filtros reflejan los rayos UV y NIR pero transmite luz visible.

FILTRO INFRARROJO (NIR): Los Filtros infrarrojos son diseñados para no dejar pasar la luz percibida en el entorno de las longitudes de onda media del espectro IR, pero no bloquean la luz visible si no la dejan pasar. Son utilizados comúnmente contra luces intensas e incandescentes para impedir que el calor traspase el dispositivo de iluminación. (Ministerio de energía y minas - Colombia, 2010, p 19,20).

FILTRO ULTRAVIOLETA (UV): Los filtros ultravioletas en cambio no dejan pasar la luz ultravioleta, dejando solo pasar la luz visible. Son usados usualmente para la fotografía, pero también se utilizan en sistemas de iluminación natural ya que ayudan a proteger a los elementos de este sistema que se corroigan (Ministerio de energía y minas - Colombia, 2010, p 19,20).

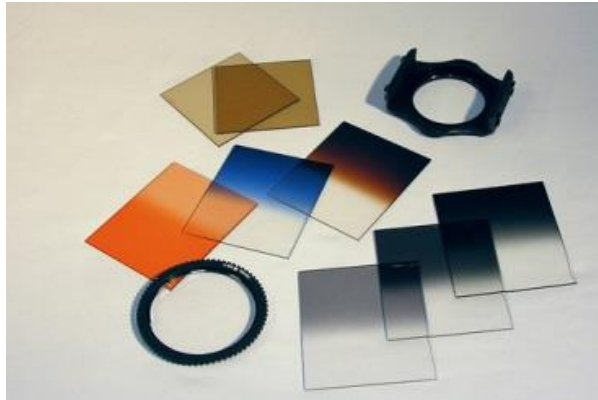


Fig. 6 Filtros

(Fuente: tabernero, 2011).

1.2.3.4 Difusor

El Difusor el último elemento de nuestro sistema pero no menos importante, es el encargado de dirigir los rayos luminosos dependiendo el tipo del difusor. Existen varios tipos de difusores, por este motivo es importante definir el modelo para poder aplicar a nuestro caso. Los niveles de iluminación se determinarán en base al modelo del difusor.



Fig. 7 Difusor

(Fuente: Propia, 2016)

1.3 DEFINICIÓN Y UTILIDADES DE LA FIBRA ÓPTICA Y FILAMENTO DE FIBRA ÓPTICA.

Como definición básica podemos decir que la fibra óptica es un elemento conductor de luz a través de sus paredes a una cierta longitud de onda, dependiendo las características propias del material y fabricante.

Su utilización es aplicable en varios sectores de la industria. Como principal aplicación esta la fibra para transmisión de datos en telecomunicaciones, está formado por un hilo muy fino de material transparente de vidrio o plástico por donde se propaga luz a un cierto ángulo.

Como otra aplicación se utiliza para iluminación decorativa, y en nuestro caso para iluminación natural, considerando el mismo principio de transmisión.

1.3.1 Fibra Óptica

Este filamento está compuesto por uno o más hilos de fibra de vidrio o plástico, cada fibra de consta de:

- Un núcleo central de fibra con un alto índice de refracción.
- Una cubierta que rodea al núcleo, de material similar, con un índice de refracción levemente menor.
- Una envoltura que aísla las fibras e impide que causen interferencias entre fibras contiguas, a la vez que suministra protección al núcleo. Cada fibra está rodeada por un revestimiento y reforzada para resguardar a la fibra. (Fibra Optica, 2015).

Conocido en nuestro medio como el elemento de última generación para las telecomunicaciones, es un filamento de menor diámetro (μm) y que normalmente viene armados en arreglos de varios hilos de fibra dependiendo las necesidades, 2,4,8,12,24,48, normalmente, un elemento que no deja de ser un filamento trasmisor de luz.

1.3.2 Filamento de Fibra

El filamento de fibra o fibra óptica por así decirlo, ocupa ya un lugar importante dentro de la iluminación decorativa; a diferencia de la fibra óptica que se utiliza para telecomunicaciones este tiene una connotación diferente y es la del diámetro. Para iluminación es muy importante que el diámetro sea superior para poder captar un mayor haz de luz. (Figueroa, 2009)

Una fibra óptica está formada por dos partes: un núcleo y el recubrimiento, ambos de “vidrio” o “plástico”, pero con distintos índices de refracción (este dependen del fabricante), cuando la luz incide en el núcleo a cierto ángulo la luz se refleja y esta comienza a viajar de forma de zigzag, en un efecto como de rebote dentro de la fibra. La fuente es la que inyecta la luz en un extremo del grupo o hilo de fibra óptica, viajando por esta y finalmente se emite del lado final, en donde se propaga la iluminación en forma controlada mediante un difusor, spots dirigibles o accesorios ópticos diseñados para este fin. (Figueroa, 2009)

1.4 DISTRIBUCIÓN DE CANTIDAD DE DÍAS CON CIELO CLARO, NUBLADO Y PARCIALMENTE NUBLADO.

1.4.1 Irradiación Solar en el Ecuador.

La Corporación para la Investigación Energética – CIE, maneja la información generada por su modelo CRS (Modelo Climatológico de Radiación Solar), filtrando en principal instancia el extenso volumen de información proveniente de este modelo, hasta elegir aquellos que corresponden solamente al territorio continental ecuatoriano, y mediante códigos, ser enviados a una base de datos para que sean relacionados con la plataforma de trabajo que se eligió, en este caso, un Sistema de Información Geográfica (SIG). A través del SIG se convirtió las referencias geográficas al Sistema de proyección y coordenadas escogidas para el país, en este caso Universal Transverse de Mercator, WGS84, Zona 17 Sur. (Energetica, 2008)

1.4.2 Utilización del Atlas

En el atlas solar de nuestro país, existen mapas solares que indican datos que representan el promedio de energía proveniente del sol tanto mensual como por año de los valores por día de la irradiación general directa y difusa e insolación global sobre una superficie horizontal y posee los promedios de cada mes de cada una de ellas, formulados en Wh/m²/día.

Estos mapas permiten evaluar el rendimiento de un sistema a base de energía solar según el lugar de su instalación.

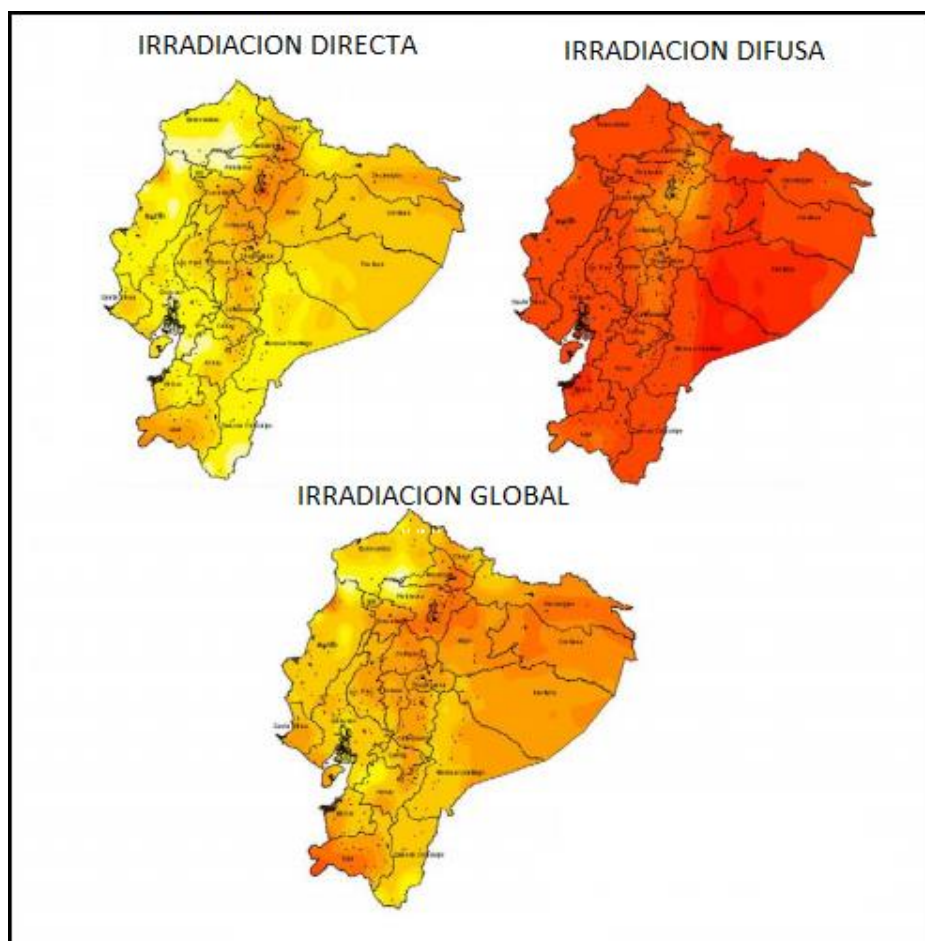


Fig. 8 Atlas Solar del Ecuador.

(Fuente: (Energetica, 2008))

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE BASADO EN EL TRANSPORTE DE LA LUZ NATURAL.

2.1 INTRODUCCIÓN

Existen algunas empresas que ya han investigado sobre los sistemas de iluminación natural utilizando diferentes tipos de fibra óptica, han realizado diferentes pruebas en laboratorios con tecnología de punta, algunas en forma de prueba, otras ya los comercializan, por eso se dará a conocer cierta información que servirá para la investigación propuesta.

2.1.1 Sistemas de Transporte de Luz Natural Comerciales

Se han observado las diferentes características y tipo de material que tienen estos sistemas comerciales basados en tecnologías con fibra óptica, y se han tomado en cuenta las más significativas:

2.1.1.1 Sistema Himawari (La Foret Engineering)

El Himawari es un dispositivo que consiste de un sensor solar y unos lentes de Fresnel para colectar y enviar la luz del sol a través de fibras ópticas a una posición destinada.

El sistema utiliza un motor de pasos para apuntar las lentes en la dirección del sol en cualquier momento, controlando la posición de las lentes posicionándolas en el ángulo recto contra la luz del sol, fig. 9, el sistema está equipado con un mecanismo de reloj interno, un sensor de sol y un microprocesador para calcular la posición del sol y ajustar su propio ángulo. En días con un buen tiempo, la posición exacta del sol es establecida por el sensor, pero cuando el sol se encuentra oculto detrás de las nubes esto cambia su mecanismo de reloj interno, y sistema responde rápidamente a los cambios de clima. Después de la puesta del sol, el sistema se apaga y se posiciona a sí mismo para la siguiente salida del sol. (Rodrigo, 2008).

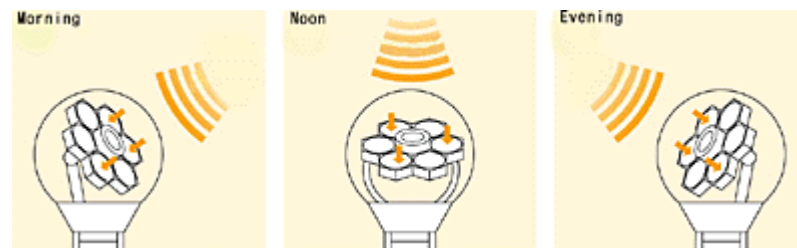


Fig. 9 Himawari Systems

(Fuente: (Dr. Kei Mori, 2011)).

Cables de fibra óptica, el cable está hecho de fibras de cristal de cuarzo de diámetro grande especialmente fabricadas para la transmisión de luz del sol. Esta lleva los rayos visibles de luz del sol a poca atenuación. Un bundle de cable tiene 6 núcleos, cada uno de los

cuales está hecho de fibras ópticas de 1mm de diámetro los cuales están conectados con una lente cada uno, como se ve en la fig. 10. (Rodrigo, 2008)

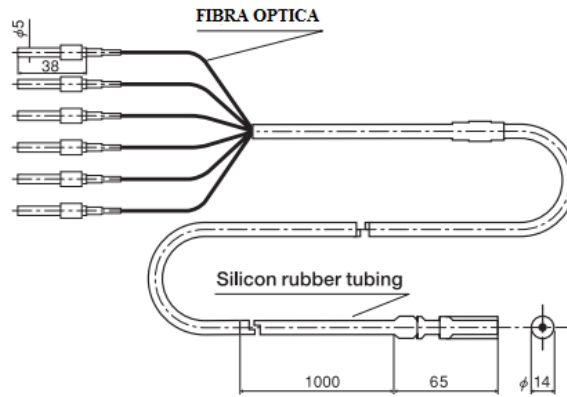


Fig. 10 Himawari Systems fibra óptica

(Fuente: (Dr. Kei Mori, 2011)).

2.1.1.2 Sistema Solux – Heliotics (*Proyecto UFO*)

El sistema Solux de Heliotics es un sistema de iluminación prototipo a base de fibra óptica para un sistema integrado luz de día y luz artificial, el cual es capaz de atraer la luz solar directamente en el núcleo de edificios donde la luz del día no está disponible. (Rodrigo, 2008)

“Su objetivo es el de reducir al mínimo la ganancia de calor (por lo tanto reducir cargas de enfriamiento) y proporcionar la sustitución de luz solar por la luz artificial siempre que sea posible la utilización de fibra óptica”. (Rodrigo, 2008)

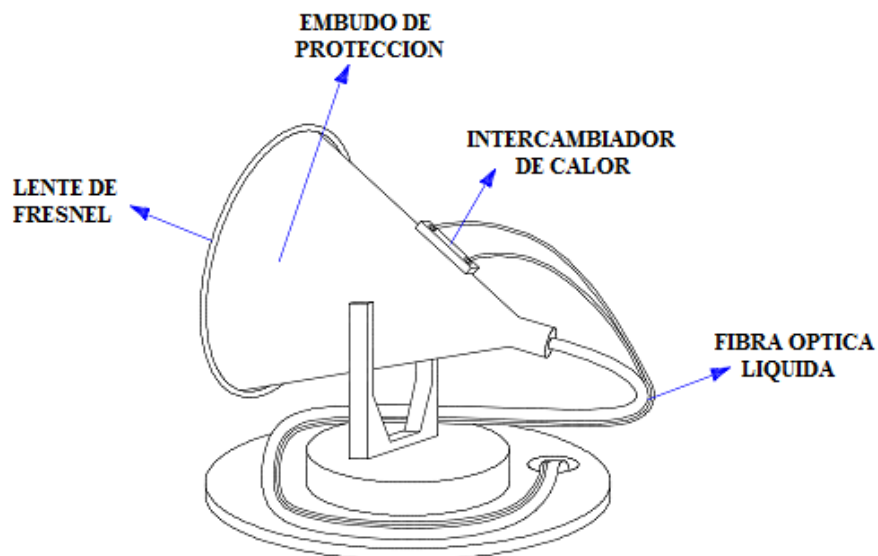


Fig. 11 Sistema de iluminación Natural

(Fuente: Propia, 2016).

- **Cables de fibra óptica**, El transporte de luz en fibras ópticas (guías de luz) líquidas está basado en la reflexión total interna en el núcleo líquido hecho de un fluido transparente. Estas fibras son más eficientes y menos caras que los bundles de fibra óptica de vidrio y son selladas con ventanas de cristal a ambos finales fig.12.

Los bundles de fibra comparables tienen un ángulo de aceptación menor y la transmitancia total es casi la mitad de él de una guía de luz líquida. Incluso a longitudes de hasta 30 m la distribución del espectro de luz emitida es todavía similar al de la fuente de iluminación misma y por lo tanto es idónea para el transporte de luz a través de distancias más largas. (Rodrigo, 2008)

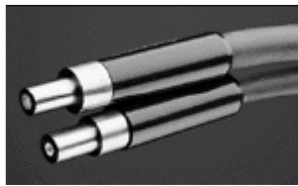


Fig. 12 Cables de Fibra

(Fuente: Rodrigo, 2008).

2.1.1.3 Sistema de Iluminación Híbrido HSL (*Sunlight Direct*)

Es un sistema de iluminación solar el cual utiliza fibras ópticas plásticas y componentes ópticos plásticos para entregar luz solar de alta calidad para iluminación de luz de día convencional. El cual a diferencia de los sistemas de tragaluzes y de ventanas tradicionales permite controlar donde y como la luz solar puede ser utilizada dentro de un edificio y además proporciona iluminación eléctrica suplementaria para automáticamente mantener un nivel constante de iluminación, fig. 13. (Rodrigo, 2008)



Fig. 13 Modelo HSL

(Fuente: (Co.ltda, 2010)).

- **Cables de fibra óptica**, el bundle en este sistema es una agrupación de 127 fibras más pequeñas de 1/8 de pulgada de diámetro fig. 14, mientras que en otros modelos se utilizan fibras ópticas de núcleo grande de 12mm de diámetro. La cantidad de luz emitida de solamente dos de las fibras pequeñas es equivalente a un bulbo

incandescente típico de 50 W y es fresca al contacto. Estas fibras pueden ser agrupadas y distribuidas como sea necesario para proporcionar la iluminación en las partes requeridas del interior de un edificio. Sin embargo, debido a que la fibra óptica plástica absorbe un poco de la luz colectada, la longitud de la fibra óptica generalmente no excede los diez metros. (Rodrigo, 2008)

Además de bajar el costo, la ventaja de fibra óptica plástica es que es sumamente flexible y fácilmente puede ser instalada, cortada, y pulida. Además es sumamente duradera, es decir tiene una vida útil larga. (Rodrigo, 2008)

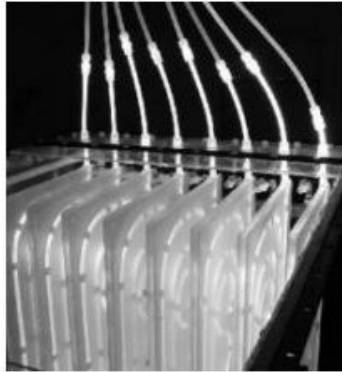


Fig. 14 Cables de Fibras

(Fuente: (Co.ltda, 2010))

2.1.1.4 Sistema Parans (Iluminación Solar por Fibra Óptica)

El sistema de iluminación natural Parans puede seguir al sol durante todo el día que exista radiación solar. Sólo la parte visual del espectro de luz solar es atrapada por una matriz de lentes de fresnel y es transportado mediante la fibra óptica al interior de cualquier local, departamento, etc. Los rayos IR y UV son filtrados mediante lentes. Esto significa que gran parte de la energía térmica en la radiación solar es bloqueado y la luz no se desvanece, además los colores de las fibras y los materiales también se conservan por la protección de la radiación UV.



Fig. 15 SIFO

(Fuente: (SYSTEM, 2016)).

- **Cables de fibra óptica**, El cable óptico está fabricado de varios hilos de fibra óptica delgada y flexible, tienen una alta transmisión de luz, por lo que la luz del sol eficientemente puede alcanzar muchas ubicaciones lejanas en un edificio. De cada panel solar salen cuatro cables ópticos de 6mm del diámetro, de una densidad de 30 g/m y pueden alcanzar hasta 20m de longitud, su radio de curvatura puede ser tan pequeño como 50 mm. Los cables ópticos están cubiertos con un material llamado Megolon el cual es resistente al fuego. Dentro de cada cable, la luz es transportada en 16 Fibras Ópticas Plásticas de Alto rendimiento de 0,75 mm hechas de PMMA (PolyMethylMethAcrylate) "Polimetacrilato de metilo". La transmisión de luz es el 95,6 por ciento por metro (figura #15).



Fig. 16 Cables de Fibra

(Fuente: (SYSTEM, 2016)).

2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE SISTEMAS COMERCIALES.

Con la información obtenida de los sistemas más adecuados para nuestro propósito, optamos por realizar una tabla de resumen sobre el tipo de materiales utilizados y las características que más sobresalen en estos tipos de sistemas.

Haciendo una comparativa de los materiales observados en la tabla # 1, el proyecto se deberá enfocar en los mejores materiales para proceder a realizar el prototipo; si observamos los materiales utilizados por los diferentes sistemas el 75% de sistemas utilizan como colector los lentes de fresnel, el 50% utilizan como transporte la fibra óptica plástica.

Respecto a la fibra óptica plástica, las pérdidas que existen son mayores a que la fibra de cuarzo o vidrio, también la luz UV y NIR las pueden dañar. Se ha demostrado que las principales pérdidas en la fibra óptica plástica son debido a la absorción de vibración en los enlaces de la molécula de PMMA (Poli metacrilato de metilo) cuando se exponen a la radiación infrarroja. (David Lingfors, 2012)

Para controlar que la fibra no se dañe se recomienda colocar lentes o filtros que evitarán que pasen los rayos UV y NIR hasta la fibra óptica y así tener mayor tiempo funcionalidad del sistema.

La empresa Parans utiliza fibras de alto rendimiento (fibra plástica) para que se reduzca las pérdidas de luz según vaya aumentando su longitud, además el radio de curvatura de estas fibras es menor que las otras fibras, por lo que es más fácil su manejo al momento de realizar su acometida hacia cierto lugar.

El sistema de rastreo solar que se empleara será automático y para la longitud de la fibra óptica que se podría utilizar, se tomara en cuenta la máxima distancia propuesta por los sistemas comerciales la cual es hasta 20m. (David Lingfors, 2012)

TABLA I Tabla comparativa

(Rodrigo, 2008)

SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL				
SISTEMA	TIPO DE COLECTOR	TIPO DE FIBRA ÓPTICA	SISTEMAS DE RASTREO SOLAR	LONGITUD ALCANCE
Sistema Himawari	Lentes de Fresnel	Fibras ópticas de cristal de cuarzo	Automático impulsado por un sistema de dos ejes, con un mecanismo de reloj interno, un sensor de sol y un microprocesador para calcular la posición del sol y ajustar su propio ángulo.	15m
Sistema SOLUX	Lentes de Fresnel	Fibras ópticas (guías de luz) liquidas	Sensor rastreador óptico.	30m
Sistema HSL3010	Arreglo de espejos plásticos	Fibras ópticas plásticas.	Automático, el sistema rastrea el sol utilizando un controlador a base de un microprocesador que calcula con precisión la posición del sol dadas las coordenadas GPS locales y el tiempo local.	14m
Sistema Parans	Lentes de Fresnel	Fibras ópticas plásticas.	Sistema de rastreo activo, controlado por medio de un foto sensor que alimenta al microordenador interno con datos de nivel de luz.	20m

2.3 MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA FIBRA ÓPTICA PLÁSTICA.

Empresas que ya tienen en el mercado sus sistemas mediante fibra óptica han realizado varias pruebas de laboratorio y ya han logrado la obtención de ecuaciones para así determinar con más precisión las características de la fibra óptica, especialmente la fibra óptica plástica, para tener más conocimiento sobre el tipo de pruebas que se somete la fibra, se detallaran a continuación:

2.3.1 Mediciones de la distribución de potencia espectral.

“Una fibra óptica a menudo se caracteriza por su apertura numérica (NA), que se determina por la relación entre el índice de refracción del núcleo y el revestimiento como”;

$$NA = \sin \theta = \sqrt{n_0^2 - n_1^2} \quad \text{Ec.3}$$

“Donde θ es el ángulo medio de aceptación, n_0 y n_1 son los índices de refracción del núcleo y el revestimiento, respectivamente” (Fig. 17).

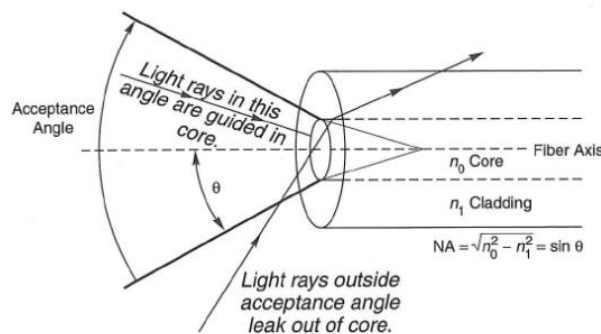


Fig. 17 Distribución del espectro

(Fuente: (David Lingfors, 2012)).

Si el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo de aceptación θ la luz no es guiada, pero continúa a través del revestimiento y se escapa de la fibra. El ángulo de incidencia de la luz es también el ángulo de salida de la luz, pero la intensidad de la luz normalmente es mayor más cerca del eje de la fibra como se puede ver en la Fig. 18. (David Lingfors, 2012)

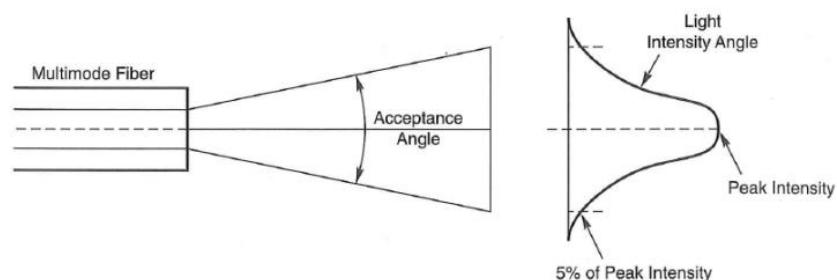


Fig. 18 Intensidad de luz y ángulo de incidencia

(Fuente: (David Lingfors, 2012)).

“Al igual que en la mayoría de los sistemas de iluminación solar de fibra óptica, las fibras se ensamblan en paquetes (bundles) para obtener la salida de flujo luminoso apropiado de las luminarias solares”. (David Lingfors, 2012)

2.3.2 Pruebas de Transmitancia, reflectancia y absorbancia.

Los espectros de transmitancia, $T(\lambda)$, de los componentes del sistema se estudió usando un espectrofotómetro de laboratorio; la longitud de onda fue escaneado a través del intervalo seleccionado utilizando un monocromador de rejilla y guiado a través de la muestra de ensayo sobre un detector (Fig. 19). Una cuchilla óptica reduce el ruido de fondo. Un amplificador lock-in dio información de la frecuencia de la chopper al detector. Diafragmas ajustables redujeron el haz de luz y un microscopio objetivo enfoca la luz. El enfoque es especialmente importante cuando se prueba una fibra óptica con el fin de acoplar la luz de manera eficiente. La atenuación por metro para una fibra podría ser determinada por el método de reducción, para los que se realizaron dos mediciones; la primera con una fibra preferiblemente de largo, se escinde a continuación la fibra, dejando sólo 2 m de la fibra con el extremo de entrada todavía en su soporte y la segunda medición se realiza. Si el corte de la fibra no es posible o deseable se realizó la segunda medición (la referencia) y sin la fibra directamente después de la medición de fibra, manteniendo constantes todos los demás parámetros. (David Lingfors, 2012)

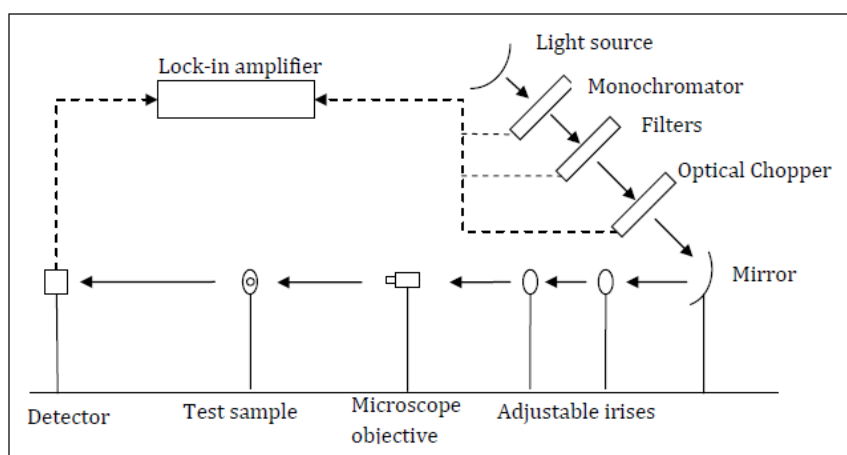


Fig. 19 Prueba de T,R,A en laboratorio

(Fuente: (David Lingfors, 2012)).

La reflectancia, $R(\lambda)$, se midió en un espectrómetro Lambda 900 de PerkinElmer Inc.

La absorbancia $A(\lambda)$ podría calcularse como;

$$A(\lambda) = 1 - T(\lambda) - R(\lambda) \quad \text{Ec.4}$$

El coeficiente de atenuación α en una fibra óptica se expresa en dB / km y se puede calcular como;

$$\alpha = -\frac{1}{L} 10 \cdot \log_{10}(T) \quad \text{Ec.5}$$

Donde T es la transmitancia total de la fibra y L la longitud de la fibra en km.

CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL Y PRUEBAS DE LABORATORIO EN LA UCACUE

3.1 INTRODUCCIÓN

La construcción y diseño de un prototipo para la iluminación natural es muy importante ya que va a mejorar el rendimiento al momento de la captación de la luz natural y así poder usarla de manera más eficiente, todo el prototipo fue realizado en Solid Works para aumentar su precisión en las medidas, la construcción de este prototipo se la realizó en dos materiales diferentes en aluminio y plástico ABS, el mejor resultado por ser más liviano fue el plástico, siendo este el material escogido para su construcción, a continuación de detalla el diseño y construcción de cada elemento del prototipo.

3.1.1 Diseño del concentrador solar

El diseño del concentrador solar se lo realizo en el software de Solid Works, para este diseño primero se tomó las medidas de cada componente que se utilizará en el concentrador, utilizando un calibrador, se logró tener las medidas más exactas, estas medidas fueron utilizadas en el software y según la forma de los elementos se efectuó la forma del concentrador solar (ver Fig. 20).

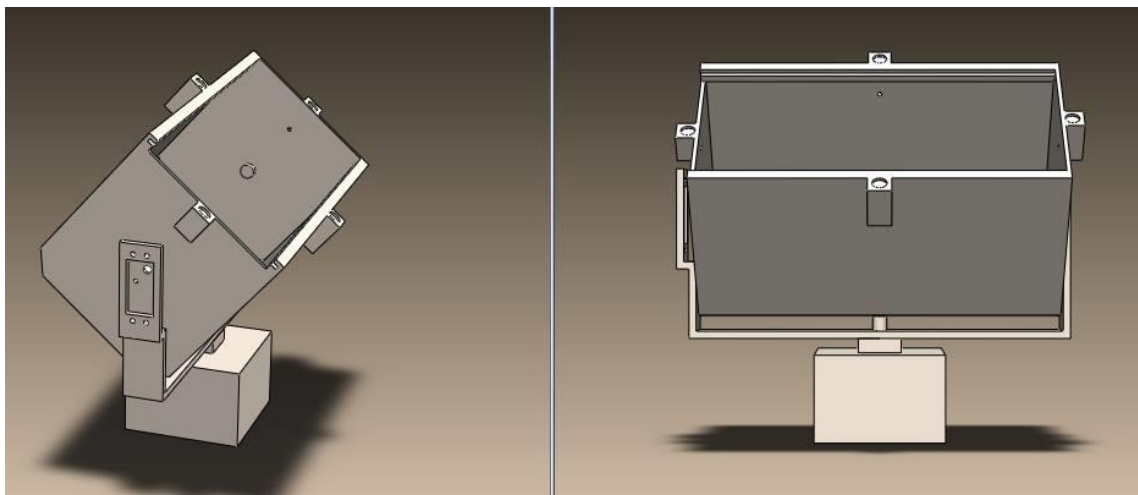


Fig. 20 Prototipo del concentrador solar.

(Fuente: Propia, 2016)

Para dar movimiento al concentrador se tomó en cuenta en el diseño la ubicación de los servos motores, estos fueron colocados en los puntos medios, para que el concentrador tenga un movimiento lento (ver Fig. 21).

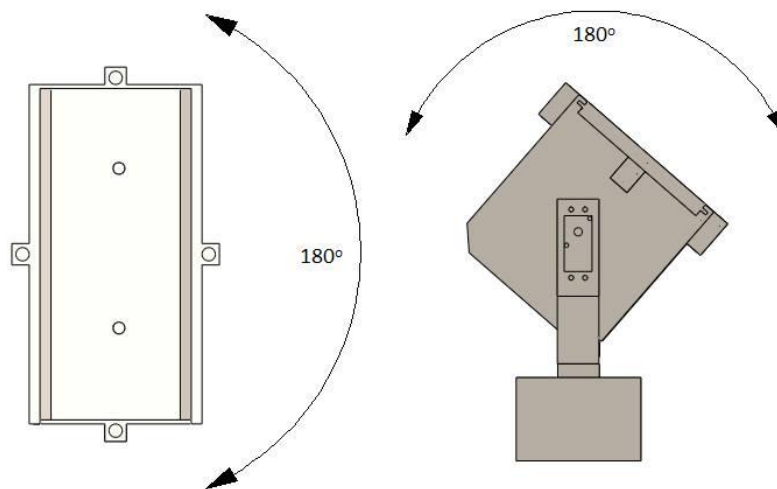


Fig. 21 Ejes de movimiento del concentrador.

(Fuente: Propia, 2016)

3.1.2 Diseño del seguidor solar

El diseño del seguidor solar se basó en un seguidor solar activo ya que tiene un control electrónico que en este caso será el “Arduino uno” (ARDUINO GENUINO), realiza movimientos en los ejes x y y, el método que se utiliza para el seguimiento del sol es mediante sensores de Resistencia dependiente de Luz (LDR), dos para cada eje, los cuales nos ayudan a buscar el ángulo correcto para que el concentrador tenga un mejor rendimiento en todo el año al momento de la captación de la luz natural. Para que todo esto funcione como se menciona necesita una programación básica en “Arduino uno”.

Se muestra el diseño esquemático que funcionará independientemente, la figura indica cómo se ejecutó la conexión entre los componentes electrónicos para el seguidor solar.

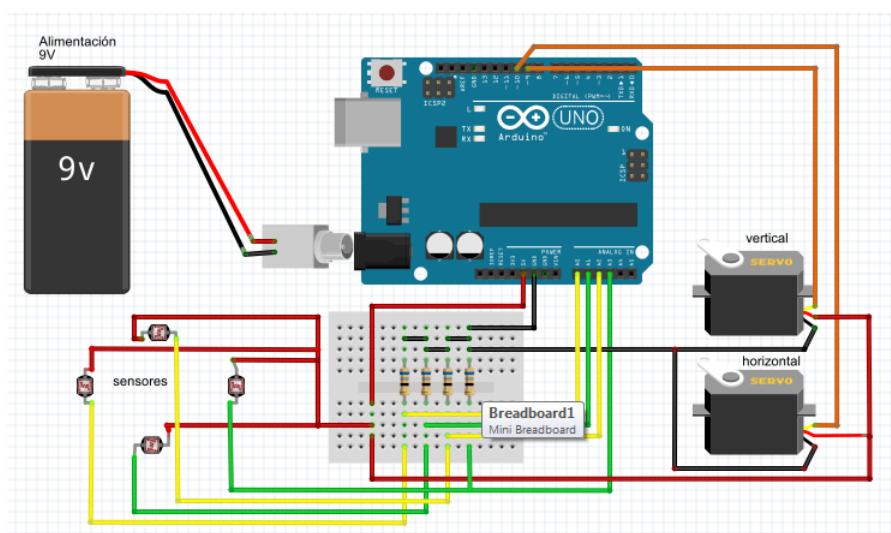


Fig. 22 Circuito esquemático del seguidor solar.

(Fuente: Propia, 2016)

3.2 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

Cabe mencionar que el primer prototipo que se construyó fue de aluminio (Fig. 23), el cual presento inconvenientes debido a que el servo motor encargado de mover el colector no ejercía ninguna fuerza por el peso del mismo, otro inconveniente fue que el eje del servo motor del soporte se desgasta por la misma razón del peso, debido a esto perdía el concentrador el equilibrio, por esto se decidió escoger otro material que sea más liviano como un plástico acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).



Fig. 23 Prototipo del concentrador solar construido en aluminio.

(Fuente: Propia, 2016)

Una vez diseñado la parte del concentrador se procedió a imprimirlo en 3D con un material plástico ABS, el cual tiene características muy importantes como la de soportar temperaturas elevadas, que es importante porque el sistema va a estar a la intemperie.



Fig. 24 Impresión 3D del concentrador solar.

(Fuente: Propia, 2016)

Esta impresión se realizó en dos partes la primera fue la del colector donde se colocan los sensores y el lente de Fresnel, y la segunda fue la parte de soporte donde se colocan los servos motores. La base donde se asienta el concentrador solar fue reutilizada del prototipo anterior que fue de aluminio, ayudando a tener más estabilidad.



Fig. 25 Prototipo del concentrador solar construido con plástico ABS.

(Fuente: Propia, 2016)

La parte electrónica del seguidor solar se encuentra en la base del concentrador por el espacio existente suficiente para colocar cada elemento, los sensores son los únicos que se encuentran en la parte superior del colector, todo el cableado está armado de forma ordenada de tal manera que se puedan corregir errores de funcionamiento.



Fig. 26 Circuito electrónico del seguidor solar.

(Fuente: Propia, 2016)

La programación es de acceso libre, por lo que se incorporó la programación para que mejore la función pretendida, en sí la programación conjuntamente con el “Arduino” nos permiten tomar datos analógicos de las Resistencias dependientes de Luz (LDRs sensores), estos se comparan y se estabilizan cuando verifica que exista la misma resistencia en los cuatro sensores, los servos motores reciben señales digitales del arduino para que se estabilicen y así tener mayor captación de luz natural.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO DE UN CONCENTRADOR SOLAR

TABLA II Características de los elementos.

(Fuente: Propia, 2016)

Nombre		Aplicación	Características Técnicas	
Conjunto de lentes de Fresnel para el panel solar HCPV 		Colector solar, concentra los rayos del sol en un solo punto	Modelo	BHPA120-3-S
			Material	Acrílico (PMMA)
			Tamaño total	244*122mm
			Tamaño por lente	122*122mm
			Espesor	3mm
			Pendiente (surco)	0.5mm
			Distancia Focal	120mm
			Transmisión (%):	92 (from 400-1100nm)
			Índice de refracción	1.491
Temperatura de funcionamiento (°C)	80 (Máximo)			
Fiber Optic Lighting Filament 		Transmisión de luz natural	Material	polimetacrilato (PMMA)
			Diámetro	1mm
			Transmisión de luz	85% - 92%
			Largo	150 FT
			Punto de fusión (°C)	160
Fiber Optic Lighting Filament 		Transmisión de luz natural	Material	polimetacrilato (PMMA)
			Diámetro	2mm
			Transmisión de luz	85% - 92%
			Largo	100 FT
			Punto de fusión (°C)	160
Fibra Óptica con núcleo sólido (con chaqueta) 		Transmisión de luz natural	Material	polimetacrilato (PMMA)
			Diámetro núcleo	2mm
			Diámetro total	3.5mm
			Transmisión de luz	85% - 92%
			Largo	30 FT
Temperatura de funcionamiento (°C)	-15 a 120			
DIFUSOR DE VIDRIO 		Difusa la luz natural que transmite la fibra óptica	Material	Borosilicato de vidrio
			Transmitancia	99%
			Tolerancia	+/- 0,2 mm
			Transmisión de luz	96%
			Dimensiones	41*20*36mm
			Temperatura de resistencia (°C)	821 (Máximo)
SERVO MOTOR 		Brinda movimiento y precisión a todo el concentrador al momento de captar los rayos solares	Modelo	MS - 311
			Tensión de operación	4,8V - 6V
			Velocidad	0,22seg / 60°
			Torque	4.1kg / cm
			Dimensiones	41*20*36mm
			Temperatura de funcionamiento (°C)	-30 a 60
ARDUINO UNO 		Control Electrónico y programación del Seguidor Solar	Microcontrolador	ATmega328P
			Tensión de funcionamiento	5V
			Pines Digitales	6
			Pines Analógicos	6
			Corriente DC por pin I/O	20mA
			Dimensiones	68.6 * 53.4mm

3.4 INSTRUMENTOS DE MEDICION DE LABORATORIO

3.4.1 Luxómetro

Un luxómetro es un dispositivo para medir la luminosidad. Mide específicamente la intensidad con que la luminosidad aparece al ojo humano. Esto es diferente de las medidas de la luz de energía real producida o reflejada de un objeto o una fuente de luz. Un lux es una unidad de medida para esta iluminación, o para ser más exactos, la luminancia. Deriva de otra unidad estándar de medida para la potencia de la luz, que es la candela. Una candela es una cantidad que se puede interpretar como la luminosidad que de una vela. Mientras que la candela es una unidad de energía, tienen un equivalente conocido como lumen, que mide la misma luz pero en términos de percepción del ojo humano. (Electronica-basica.com, 2014)



Fig. 27 Luxómetro

(Fuente: Propia, 2016).

3.4.2 Esfera de Ulbricht

La Esfera de Ulbricht es una estructura esférica hueca, cubierta en su interior con una pintura especial de color blanco cuya característica principal es tener una alta reflexividad de las diferentes longitudes de onda.

En su centro geométrico se sitúa la lámpara cuyo flujo se quiere determinar y sobre la superficie de la esfera se monta el elemento de medición luxómetro, que mide la Iluminancia correspondiente de acuerdo al esquema de la figura 28. (Ing. Nicolas Rivero & Ing. Andres Cardozo)

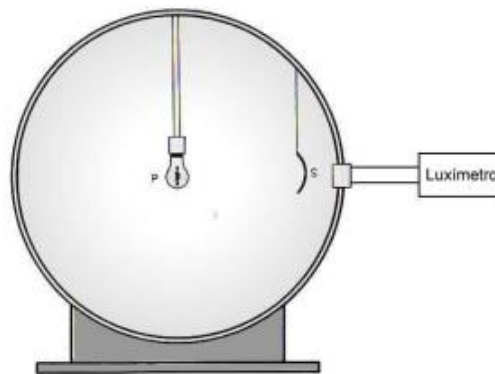


Fig. 28 Esquema de la Esfera de Ulbricht

(Fuente (Ing. Nicolas Rivero & Ing. Andres Cardozo)).

3.4.3 Gonio spectro radiometer.

Un fotogoniómetro, también llamado goniofotómetro, es un montaje de laboratorio en el cual se realizan pruebas normalizadas a todo tipo de luminarias como las utilizadas en alumbrado público, de interiores, ornamentales, etc.

El objetivo de las pruebas, llamadas fotometrías, es conocer la forma de la distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas alrededor de la fuente bajo prueba. Con esta información es posible obtener diagramas como el isocandela e isolux, así como también la matriz de distribución de intensidades luminosas y en general, diagramas polares de intensidad en diferentes planos. Posteriormente, es posible determinar la calidad del reflector y refractores utilizados en la luminaria, las pérdidas con respecto a la potencia de la fuente utilizada, como también estimar la calidad de la iluminación sobre un área especificada al utilizar una luminaria determinada. (Alexander Arias-Cuellar, 2007)

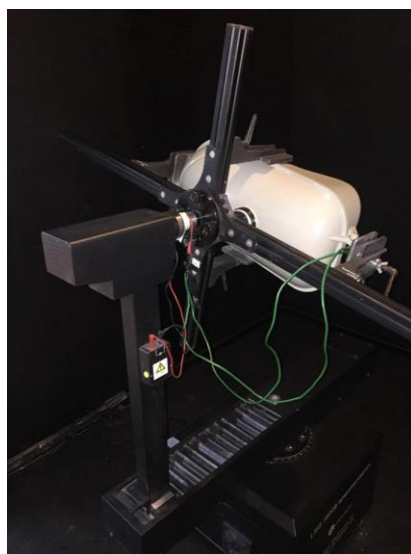


Fig. 29 Gonio fotómetro

(Fuente Propia, 2015).

3.4.4 VFL (visual fault locator) Localizador de fallas visual

Desde un punto de vista más práctico un VFL es un “Láser” conocido también como “fiber checker”. Se utiliza para probar la continuidad de los cables de fibra óptica o filamento, colocándolo en un extremo y observando con precaución la Luz del mismo por el otro extremo. (Importante no acercarse a los ojos que puede causar daño a la retina).

Otro dato a tomar en cuenta es la distancia máxima que puede recorrer la Luz dentro del núcleo del cable, y esto está relacionado con la Potencia (mW). Mientras mayor sea la Potencia de Salida (Output) es posible probar cables más largos. La forma de trabajo del láser puede ser de Onda continua ó sino como una onda intermitente tipo Pulsante (Pulse); dependiendo de la aplicación



Fig. 30 Localizador de fallas visual

(Fuente: Propia, 2016).

3.5 PRUEBAS DE LABORATORIO

Vale mencionar que las pruebas realizadas con fibra óptica de vidrio, más comúnmente utilizada en telecomunicaciones, se realizaron pero no se obtuvo ningún resultado, puesto que, el diámetro interno de la fibra es en micras y no era suficiente para transmitir la luz solar. La fibra óptica está diseñada para transmitir datos e información a longitudes de onda altas entre 1310 y 1550nm, la luz solar en cambio, contiene un espectro visible que oscila entre los 390 y 750 nm. Por esta razón para iluminación natural es más común utilizar la fibra de tipo plástico primero por su bajo costo y segundo tiene alta atenuación de la radiación infrarroja obteniendo una iluminación tipo fría que no genera calor.

A continuación se detallaran las pruebas realizadas en laboratorio, cabe recalcar que estas pruebas fueron realizadas en un día despejado del mes de Agosto, ya que la radiación solar es una de las mejores de acuerdo a la estación meteorológica de la Nasa. (NASA, 2016)

TABLA III Promedio mensual de la Radiación incidente sobre una superficie acentuada o inclinada (kWh/m²/day).

(NASA, 2016)

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	17.8	76.7%	4.39	84.0	1.8	19.3	16	243
February	17.7	79.4%	4.25	84.0	1.8	18.9	17	218
March	18.0	77.9%	4.45	84.0	1.8	19.4	13	248
April	17.6	77.3%	4.33	84.1	1.8	19.0	22	227
May	17.1	72.4%	4.19	84.1	2.0	18.5	31	222
June	16.7	66.5%	4.15	84.2	2.5	18.1	40	202
July	16.8	57.3%	4.19	84.2	2.5	18.7	39	213
August	17.9	51.3%	4.49	84.2	2.5	20.4	19	243
September	18.9	51.2%	4.55	84.1	2.2	21.8	5	266
October	19.5	54.9%	4.54	84.0	2.0	22.7	3	293
November	18.9	64.3%	4.73	84.0	1.9	21.7	5	266
December	18.1	74.4%	4.57	84.0	1.9	19.9	12	252
Annual	17.9	67.0%	4.40	84.1	2.1	19.9	222	2893
Measured at (m)					10.0	0.0		

Datos obtenidos:

3.5.1 Pruebas del filamento de fibra con el Luxómetro

Para realizar las pruebas a las diferentes fibras ópticas de 4 hilos y 8 hilos debemos tener en cuenta que el cielo debe estar despejado, entonces verificamos que nuestro sistema de iluminación natural este captando los rayos solares y estos sean transmitidos mediante las fibras ópticas, y sean dispersados por un difusor, una vez que se verificó la presencia de luz solar, se procedió a tomar 4 mediciones de luminancia (luxes), en diferentes lapsos de tiempo de cada grupo de fibras, para esto se utilizó el luxómetro Extech-HD450.



Fig. 31 Pruebas con el luxómetro.

(Fuente: Propia, 2015).

Como se observa en la Fig.31, el sensor óptico fue colocado a 6cm de distancia del difusor para la toma de las mediciones, todas las mediciones fueron tabuladas para posteriormente realizar el análisis de las fibras ópticas.

3.5.2 Pruebas del filamento de fibra con la esfera de Ulbricht

Antes de realizar las pruebas se realizó la acometida de cada grupo de fibras desde el techo del laboratorio hasta el interior de la esfera de Ulbricht, aproximadamente fueron 6m de acometida por cada grupo de fibras.

Al igual que con el luxómetro las pruebas se realizaron en un día despejado para tener las mejores mediciones, respecto al software de la esfera antes de realizar las pruebas se debe llenar unos datos en la ventana principal, como son los datos de nuestro sistema de iluminación y el más relevante que es la humedad relativa que se muestra en la Tabla III, que es 51,3%.

Hay que recalcar que se realizó una prueba para el grupo de 4 fibras y una prueba para el grupo de 8 fibras, estas pruebas se realizaron entre las 2pm - 3pm, y cada prueba duro alrededor de 5 minutos.



Fig. 32 Prueba esfera de Ulbricht

(Fuente: Propia, 2015).

Entre los parámetros que utilizaremos para el análisis de las fibras que nos da el software de la esfera, son el flujo luminoso, la Iluminancia, el flujo radiante, la temperatura del color CCT y el índice de reproducción cromática.

3.5.3 Pruebas del filamento de fibra con el Goniopetroradiometer

Dentro del laboratorio de alumbrado público existe un cuarto denominado cuarto oscuro donde se encuentra en una sección el Goniopetroradiometer LGS-1600B, otra sección es vacía y la última sección se encuentra un láser con el que se calibra el difusor que va a ser sometida a la prueba, este láser también capta el espectro del haz de luz de que emite el difusor.

En esta prueba nosotros necesitamos una fuente de luz natural constante de 2 horas, lo cual no es posible porque hay momentos en los que se cruza una nube por nuestro captador de luz colocado en el techo y esta luz disminuye, entonces las pruebas no serían las correctas, lo que se hizo es realizar una fuente de luz constante pero esta fue artificial. La fuente de luz artificial fue regulada mediante un dimmer hasta alcanzar los niveles de iluminancia promedio que la obtuvimos con el luxómetro, básicamente simulamos la luz que es transportada por la fibra óptica, ya con esta fuente se procedió a ejecutar la prueba normalmente.

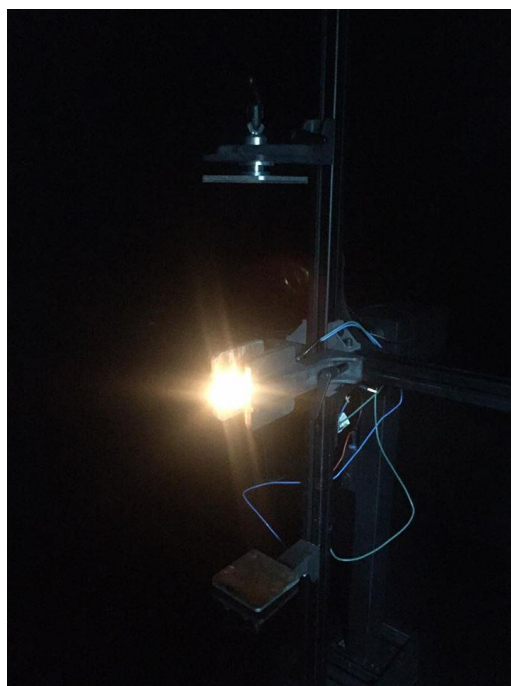


Fig. 33 Prueba esfera con el Goniopetroradiometer

(Fuente: Propia, 2016).

Para efectuar la prueba igualmente se llenan los datos dentro de la ventana principal del software, la mayoría de datos de esta prueba se llenan automáticamente gracias a los sensores existentes, una vez hecho esto se procede a iniciar la prueba en el goniótopómetro y observaremos el espectro proveniente del difusor ya sea en gráficas 3D o 2D, y todos los datos numéricos nos muestra en formas de tablas.

Parámetros fotométricos de la prueba:

- Curva de distribución de intensidad luminosa (cd/Klm).
- Curvas de isocandela en forma rectangular.
- Curvas de isocandela en forma esférica.

- Temperatura del color CCT.
- Grafica de isolux.
- Curva de limitación de lúmenes
- Distancias de iluminación.
- Grafica de Isolux vertical.
- Tabla de área de flujo.
- Tabla de Distribución de flujo basado en sistemas de clasificación lumínica (LCS).
- Grafica LCS.
- Tabla de factor de utilización (cavidad del piso).
- Tabla de Factor de utilización (pared).
- Tabla de Factor de utilización (cavidad de techo).
- Tabla de Candela (Matriz de intensidades).

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos de las pruebas en el laboratorio se reflejan en parámetros fotométricos realizados por la esfera de ulbricht, el goniofotómetro y el luxómetro. Cuyos datos se verán reflejados en reportes y tablas basadas en datos obtenidos.

Tomando en cuenta las pruebas realizadas, se obtuvieron dos informes fotométricos en archivos digitales PDF, ver Anexo A, Anexo B, de los que se tomaron los datos más relevantes para ser tabulados en una hoja de cálculo. Puesto que, del Luxómetro no se obtiene un archivo digital, se tabula en una hoja de cálculo los datos obtenidos.

4.1 RESULTADOS LUXOMETRO

En la tabla IV muestra los resultados para un grupo de 4 fibras de 1mm y de 8 fibras

Vale mencionar que las pruebas realizadas con fibra óptica de vidrio, más comúnmente utilizada

Tabla IV Mediciones obtenidas con el Luxómetro

(Fuente: Propia, 2016)

Mediciones	4 fibras D1	8 fibras D1
1	483	791
2	519	828
3	517	851
4	589	1102
promedio	527	893

Con los resultados obtenidos observamos que con las 4 fibras de 1mm de diámetro, y con un diámetro total de 2,41mm tenemos un promedio de 527 luxes medidos en el difusor, mientras que con las 8 fibras, 6 de 1mm y 2 de 2mm, con un diámetro total de 4,4mm, obtuvimos un promedio de 893 luxes medidos en el mismo difusor, a continuación se muestra la disposición de las fibras ópticas.

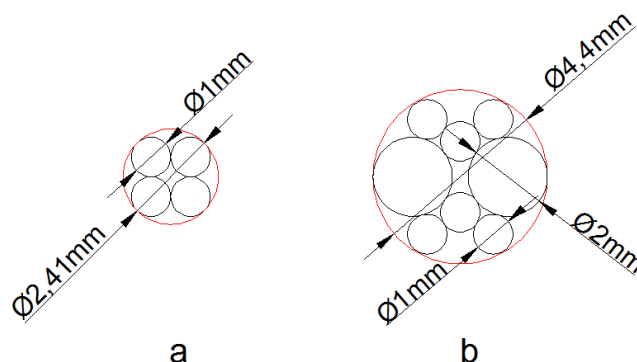


Fig. 34 (a) Disposición 4 fibras, (b) Disposición 8 fibras,

(Fuente: Propia, 2016).

Al momento de emplear más fibras sea del grosor que sea, conseguimos como resultado más luz natural al final del grupo de fibras, entonces el conjunto de 8 fibras fue mucho mejor que el de 4 fibras.

4.2 RESULTADOS ESFERA DE ULBRITCH

Del informe emitido por el software de la esfera de ulbritch se tabuló los parámetros más importantes para proceder con el análisis.

Tabla V Parámetros obtenidos en la esfera de ulbritch.

(Fuente: Propia, 2016)

Parámetros	U.	4 fibras	8 fibras
Flujo luminoso	Lumen	2,1	3,14
CCT	Kelvin	2654	2381
Índice de Reproducción cromática	%	72,2	70,8

Analizando los datos de la Tabla V, observamos que el flujo luminoso es mejor al momento de utilizar más fibras, mejora la intensidad de la luz. En la temperatura de color CCT ambos grupos de fibras emiten una luz amarilla, esto se puede observar en la gráfica del espectro luminoso. El grupo de 4 fibras supera en 1,4% al grupo de 8 fibras en el índice de reproducción cromática lo que es casi nada, entonces ambos grupos de fibras tienen una luz con la que se puede tener una igual percepción del color de los objetos.

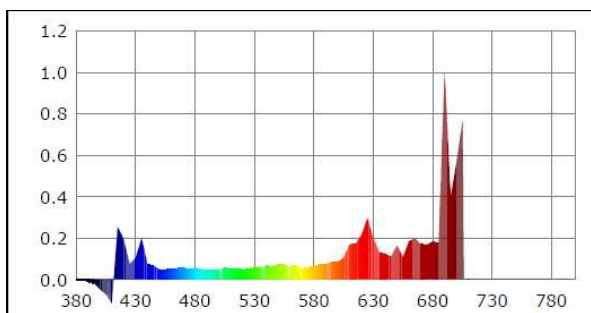


Fig. 35 Gráfica dentro del espectro visible 4 fibras

(Fuente: Propia, 2016).

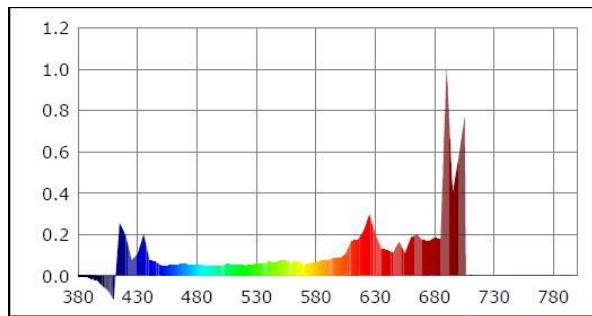


Fig. 36 Gráfica dentro del espectro visible 8 fibras
(Fuente: Propia, 2016).

4.3 RESULTADOS GONIOFOTOMETRO

Todos estos parámetros fueron emitidos por el software del Goniofotometro, estos se los tabulo para proceder con el análisis.

Tabla VI Parámetros obtenidos en el Goniofotometro

(Fuente: Propia, 2016)

Parámetros fotométricos	8 fibras
Eficiencia	0,99%
Porcentaje perdido	0,12%
Porcentaje ganado	0,86%
Intensidad máxima	56,71 cd
Flujo medido	8,8 lm

La tabla nos muestra que la eficiencia del grupo de fibras es de un 0,99% lo que es muy baja y la emisión de la luz en el espacio es de 56,71cd que igualmente es bajo, lo que al compararlo con el grupo de 4 fibras, éste no emitiría casi nada de luz, aun así el grupo de 8 fibras a simple vista se observa que si tiene una emisión de luz natural considerable, teniendo como respaldo las mediciones con el luxómetro.

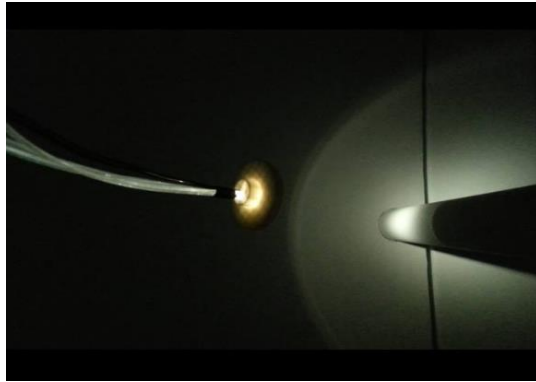


Fig. 37 Luz emitida por el grupo de 8 fibras

(Fuente: Propia, 2016)

Estos datos fueron analizados solo con el grupo de 8 fibras, porque lo más importante de esta prueba es saber cómo se distribuye la luz en el espacio (fig. 37), esta prueba fue con una fuente artificial la que simuló la iluminancia emitida por las 8 fibras, la luz emitida por el difusor vemos que es una luz puntual parecida a una linterna.

Si aumentamos más fibras la gráfica será la misma solo aumentara en tamaño, y pasará lo contrario si se disminuyen las fibras.

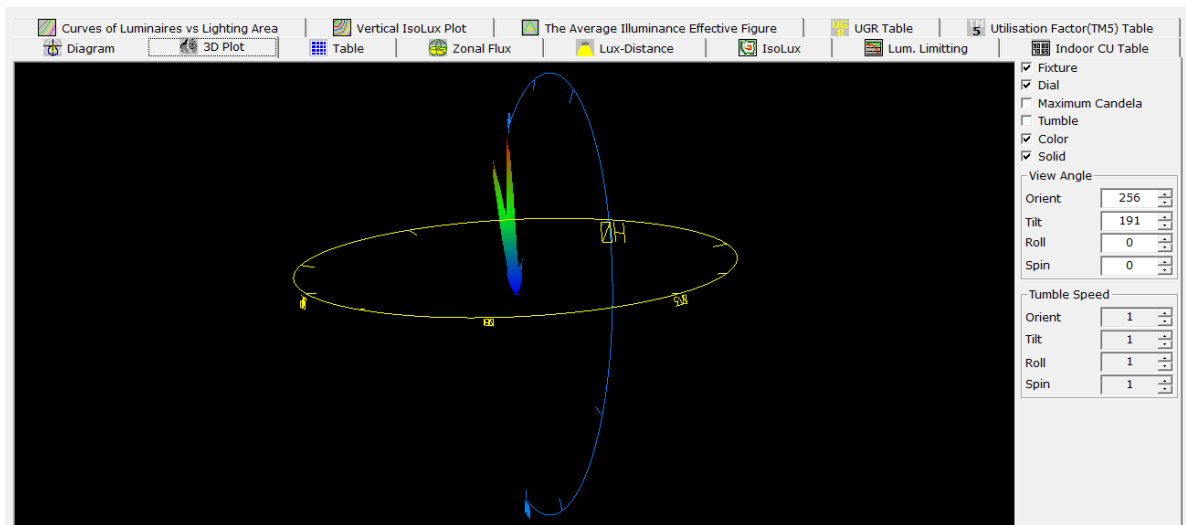


Fig. 38 Grafica isolux, luz dispersa en el espacio con 8 fibras

(Fuente: Propia, 2016)

4.4 COMPARACIÓN ILUMINACIÓN CONVENCIONAL VS RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas en el laboratorio, se presenta a continuación el siguiente análisis.

En el reporte obtenido del Goniofotometro tomamos el cuadro (figura 39) donde podemos observar que el mayor flujo luminoso por unidad de aérea es de 8,8 lm.

Considerando esta información y haciendo una comparación con el sistema convencional en nuestro caso con una lámpara fluorescente (ahorrador), que es el común de los hogares ahora en la actualidad, tomando como referencia la Tesis de grado “Evaluación energética de iluminación residencial”, (JUAN SEBASTIÁN GUAMÁN HERRERA, 2015), considerando el de menor rango lumínico un foco ahorrador de 5w en una marca (x) el flujo lumínico es de 270 lm (Philips Lighting Holding B.V., 2015).

Con esto podemos indicar que lo máximo que podríamos iluminar es una bodega pequeña, de 2x2m más o menos, entre otras aéreas de menor espacio en una vivienda común.

Al comparar el flujo luminoso de nuestro sistema con un sistema de iluminación convencional, observamos que nuestro sistema solo abarca el 3,25% del sistema convencional, esto conlleva a que debemos instalar más sistemas de iluminación natural en las áreas a iluminar por lo que aumentaría también el costo, la ventaja más relevante de nuestro sistema es que no tiene un consumo energético.

Photometric Results

<p>IES Classification: Type I Total Rated Lamp Lumens: 890.0 lm Efficiency: 0.99% Upward Ratio: 0.12% Central Intensity: 27.26 cd Pos of Max. Intensity: H100 V1</p>	<p>Longitudinal Classification: Very Short Measurement Flux: 8.8 lm Downward Ratio: 0.86% Luminaire Efficacy Rating (LER): 9 Max. Intensity: 56.71 cd</p>
---	--

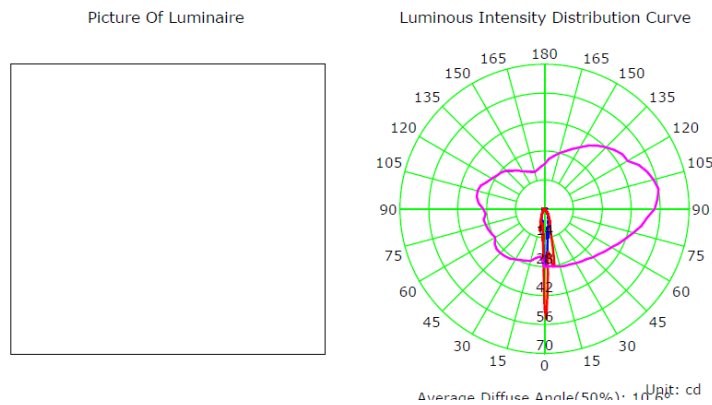


Fig. 39 flujo luminoso

(Fuente: Propia, 2016)

4.4.1 Comparación del espectro Fotométrico

En este punto queremos hacer una breve comparación de la distribución de la luz, obtenido de las pruebas realizadas en el laboratorio versus la gráfica de la fuente de iluminación de una lámpara fluorescente que cumple con las características similares al foco común de los hogares, cuya información se obtuvo de Dialux. Ver anexo

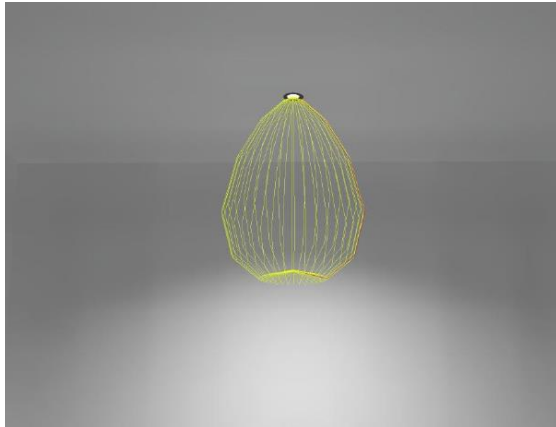


Fig. 40 Distribución de la luz lámpara fluorescente

(Fuente: Propia - dialux, 2016)

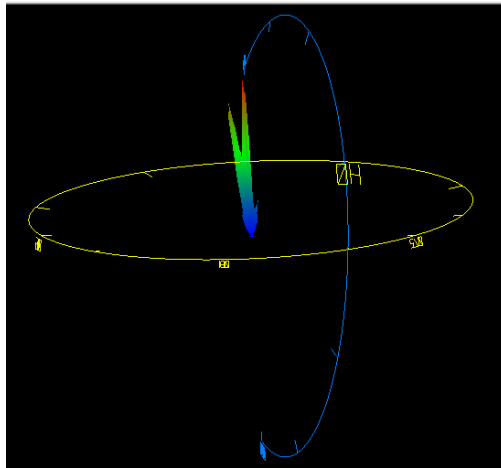


Fig. 41 Distribución de la luz difusor

(Fuente: Propia, 2016)

Podemos observar que la primera grafica que la distribución de la luz es más amplia en comparación a nuestra fuente, que simula la distribución de luz de una linterna, puesto que la distribución es puntual.

CONCLUSIONES

La construcción y funcionamiento de nuestro prototipo de un sistema de iluminación mediante fibra óptica, tuvo una serie de inconvenientes mínimos que fueron resueltos y de esta manera tuvimos un alto desempeño de nuestro sistema, ya que captó los rayos del sol eficientemente gracias a nuestro seguidor solar, además transportó y dispersó la suficiente luz natural para las pruebas de laboratorio.

Los resultados obtenidos con los equipos del laboratorio respecto a los grupos de fibras ópticas se rigieron solo en base al tipo de fibra que pudimos adquirir en el exterior ya que en el país no hay fabricantes de este tipo de tecnología, no obstante para mejorar las características de iluminación podría ser necesario el aumento de otro de varios filamentos como lo aplicamos en el desarrollo de ese proyecto.

Mientras más fibras agregamos al sistema de iluminación mediante fibra óptica mayor será la cantidad de luz que obtendremos al final.

Este sistema al parecer no tendría las características suficientes para parecerse a un sistema de iluminación convencional, sin embargo el principal objetivo del desarrollo de este proyecto es dar a conocer que la luz natural puede ser proyectada mediante filamentos de fibra óptica a lugares donde no tiene fácil acceso la luz natural

La distancia es un parámetro importante para la utilización de un filamento de fibra óptica para iluminación natural puesto que a mayor distancia se tiene pérdidas de luz natural, haciendo que el sistema pierda su efectividad a cierta distancia.

Si bien es cierto la luz proveniente del sol es una fuente de energía inagotable, pero debemos comprender que en días carentes de esta fuente no llegaríamos alcanzar los niveles mínimos de iluminación para distintas áreas, sea cual fuere el diámetro del transportador de luz. Por lo tanto este sistema no busca eliminar al 100% la iluminación convencional, si no reducir en consumo energético en horarios del día que se puede aprovechar al máximo la fuente de luz generada por el sol.

RECOMENDACIONES

En futuros estudios se recomienda el uso de filamentos de fibra de mayor diámetro, y la canalización correcta de la luz natural a través de ella, puesto que en el desarrollo del proyecto tuvimos pérdidas a causa de ello.

En base a la investigación uno de los mejores meses del año en el cual obtenemos mayor irradiación solar es el mes de Agosto, se recomienda considerando el punto anterior trabajar con los meses de menor radiación para saber cuan efectivo es nuestro sistema en meses con menor irradiación solar.

Se recomienda también que el tipo de filamento de fibra sea recubierto o con chaqueta ya que se pudo constatar que los filamentos de fibra sin chaqueta tenían menores niveles de iluminación con respecto a los que tienen chaqueta.

El uso del laboratorio fue fundamental para poder finalizar este proyecto, por lo que se recomendaría tener acceso a él en horarios próximos al medio día, que sería en el horario que mayor radiación solar se tendría, lo que permite obtener mejores resultados en las pruebas de laboratorio.

REFERENCIAS

- FENERCOM. (2006). Obtenido de <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>
- Electronica-basica.com.* (2014). Obtenido de <http://www.electronica-basica.com/luxometro.html>
- Alexander Arias-Cuellar, J. L.-C. (2007). *Diseño, construcción y calibración de un fotogoniómetro*. Obtenido de http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1618/2/inymce_v9_n1_a4.pdf
- ARDUINO GENUINO. (s.f.). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Borbor Villón, M. C. (2014). IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA PEDIDOS DE COMIDAS RAPIDAS A DOMICIO EN ITALIAN GOURMET. *Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones.*
- Carrion Carrasco, J. P., & Lasso Tamayo, V. A. (2012). Plan de Negocios para la implantacion de un restaurante movil de comida rapida en la ciudad de quito. *Universidad de las Americas Facultad de Ciencias Economicas y Administrativas, 256.*
- Co.ltda, J. D. (2010). *Jiangxi Daishing POF Co.ltda*. Obtenido de <http://www.dspof.com/en/support-pgdetail-153.html>
- David Lingfors. (2012). *Ilumitacion properties and energy savigs of a solar fiber*. Obtenido de www.parans.com
- Dr. Kei Mori, 1.-1. (2011). *From offices to houses, the Himawari systems are used in a range of spaces*. Obtenido de <http://www.sustpro.com/upload/701/documents/124/Catalogo%20Himawari%20en%20ingles%201%20de%202.pdf>
- Energetica, C. p. (Agosto de 2008). *Atlas solar del Ecuador - Conelec*. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- Fibra Optica. (Marzo de 2015). *Estudio-Sistemas*. Obtenido de http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/optica.htm
- Figueroa, J. L. (2009). *Iluminet revista de iluminacion On Line*. Obtenido de <http://iluminet.com/conferencia-el-vidrio-en-la-fibra-optica/>
- Ing. Nicolas Rivero, I.-F.-U., & Ing. Andres Cardozo, I.-F.-U. (s.f.). *Medida de flujo luminoso en Esfera de Ulbricht. Estudio de Incertidumbres. Intercomparacion con calculo por integracion*. Obtenido de <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2010/RCPS10/RCPS10.pdf>
- J.A.TABOADA. (1979, P 65,72). *MANUAL DE LUMINOTECNIA 4ta EDICION REVISADA Y AMPLIADA*. (s. Dossat, Editor) Obtenido de

http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Artificial/Capitulo_4.pdf

JUAN SEBASTIÁN GUAMÁN HERRERA, D. P. (2015). *EVALUACIÓN ENERGÉTICA-ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN RESIDENCIAL EN LA CIUDAD DE CUENCA.* Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21626/1/tesis.pdf>

León Guarnizo, C. J., & Veintimilla Ludeña, J. C. (2013). Diseño e implementación de un sistema experimental de iluminación. Loja, Loja, Ecuador.

Ley de Snell. (05 de 03 de 2016). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell

Ministerio de energía y minas - Colombia. (15 de Febrero de 2010, p 19,20). RETILAB. En *Reglamento tecnico de Iuminacion y Alumbrado publico* (págs. 19,20). Bogota. Obtenido de <https://victortabernerowordpress.wordpress.com/page/2/>

NASA. (Septiembre de 2016). *NASA Surface meteorology and Solar Energy*. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-2.9&lon=-79.0&submit=Submit>

Philips Lighting Holding B.V. (2015). *Tornado T2*. Obtenido de http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/compact-fluorescent-integrated/energy-saver-twister-shape/tornado-t2/929689114101_EU/product

Rodrigo, N. G. (2008). ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN ESTÁNDAR Y UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SOLAR HÍBRIDO BASADO EN FIBRA ÓPTICA. *PROYECTO DE INVESTIGACION*, 6.

SYSTEM, P. S. (2016). *WASCO SKYLIGHTS*. Obtenido de <http://www.wascoskylights.com/product/parans-solar-lighting-system/>