

Facultad: Facultad de ciencias básicas e ingenierías			
Programa Académico: Electromecánica			
Nombre del Semillero: Evolución Tecnológica Evotec			
Grupo de Investigación: grupo de investigación en sistema de energía automatización y control			
Temática o Línea de Investigación: Energías renovables, Control, Automatización y desarrollo de equipos con componentes eléctricos, mecánicos.			
Nombre del Director del Proyecto: Javier Ascanio Villabona			
Identificación: 1098691121			
Nivel formación Académica: Master			
Teléfono: 3173187594		Correo electrónico: jascanio@correo.uts.edu.co	
Nombre del Proyecto de Investigación: Rediseño del sistema de iluminación en el auditorio de las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS) sede principal implementado con tubos de iluminación solar		Campo del saber: Ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines	
Autores del Proyecto Marlon Andres Díaz Sanguino Johan Sebastian García Hernández		Dirección	Teléfono: 3173480972; 3173802688  Email: <a href="mailto:marlon-chiki@hotmail.com">marlon-chiki@hotmail.com</a> <a href="mailto:Johan.garcia-02@hotmail.com">Johan.garcia-02@hotmail.com</a>
<p><b>Planteamiento y Formulación del problema de Investigación:</b> Debido a la necesidad de mejorar y desarrollar un sistema de iluminación que ayude a contribuir con el medio ambiente y a su vez sea eficiente y rentable; encontramos que hay poca luminosidad en el auditorio de las UTS, la principal causa se debe a la inadecuada distribución de bombillas, también al diseño de bajo rendimiento, y ausencia de materiales de calidad para un buen funcionamiento. Estas causas generan pérdidas económicas debido al gasto innecesario de la energía eléctrica que a su vez contribuye al deterioro del medio ambiente. Por ende se rediseña un sistema adicional implementando la tecnología de tubos solares en un sistema automatizado y controlado. El diseño de la iluminación debe estar íntimamente ligado con el área que va a ser iluminada. Se deben en cuenta la forma y tamaño de los espacios, los colores y las reflectancias de las superficies del auditorio, la actividad a ser desarrollada, la disponibilidad de la iluminación natural. ¿Qué beneficios tendría la institución al adquirir el sistema de iluminación natural con tubos solares?</p>			
<p><b>Objetivo General:</b> Realizar un estudio técnico para el nuevo diseño de iluminación natural con tubos de iluminación solar para el auditorio de las UTS sede principal.</p>			

### Objetivos Específicos:

- Elaborar un diagnóstico inicial sobre la luminancia del auditorio determinado los niveles de iluminación existente.
- Diseñar un diagrama eléctrico de control y unifilar, garantizando la sostenibilidad y el desarrollo en las actividades a realizar
- Establecer una comparación costo-beneficio de iluminación del proyecto a partir de los tubos seleccionados.

Realizar una comparación con los niveles de luminancia planteados en el estudio, asegurando que el rediseño será más productivo y eficiente.

### Antecedentes:

- STRAUB HALL. (2015). auditorio con luz natural ubicado en Oregón, Estados Unidos, el proyecto de la renovación se hizo para convertir un dormitorio de cien años en una instalación académica moderna, la universidad de Oregón trabajo con los equipos mecánicos, eléctricos, de ingeniería y plomería para ayudar al edificio a llegar al siglo XXI.

- UNIVERSIDAD GRANCOLOMBIA. Tiene una propuesta para la renovación del actual auditorio de la universidad. La exploración formal por medio de materiales innovadores y geometrías no convencionales, generan un espacio cálido, moderno y con una acústica excelente. La iluminación es también un concepto clave en esta propuesta, con iluminación natural que proporcionan una luz directa que se difumina por todo el espacio con la ayuda de la madera.

- LUIS FERNANDO ROBLES MACHUCA. (2014). estrategias para el diseño de iluminación natural en auditorio del sistema de educación básica primaria en el amn nuevo león. fue el requisito parcial para obtener el grado de maestría en ciencia con orientación en arquitectura de la universidad autónoma de nuevo león.

- LA OFICINA PAUL DE RUITER. con sede en Amsterdam compitió en el concurso para el diseño del Auditorio Universitario Erasmo en Rotterdam, Holanda. Como un lugar para reunirse, relajarse y estudiar, el proyecto intenta servir como icono arquitectónico, como imagen y corazón del campus, mientras mantiene un funcionamiento neutral desde el punto de vista energético. Este proyecto con luz natural, dispone de un sistema de techo híbrido que capta la luz del día y la energía solar con una serie de tubos captadores de luz.

### Justificación:

Dado al surgimiento de nuevas tecnologías de la luz mediante tubos solares sin intervención de electricidad se propone diseñar un sistema que logre percibir la luz solar y transporte a un espacio interior por medio de una línea de conducción (en este caso tubos solares) y concentrarla en los puntos donde se requiera.

El transporte de luz actual se genera enormemente mediante electricidad la cual es una fuente efectiva, pero que requiere del consumo de gran cantidad de recursos, por lo cual surge la necesidad de aprovechamiento de la luz natural

Por lo tanto, se crea y se detalla un sistema de transporte de luz natural desarrollado a través de tecnologías actuales compuestos con distintos elementos y materiales especificados durante el desarrollo del proyecto.

Se utiliza el transporte de luz natural, mediante tubos solares ya que son tecnologías altamente efectivas para iluminación, lo que permite mejorar la forma del espacios en el auditorio con este nuevo sistema, además de reducir costos ya que solo se utilizaría la luz eléctrica en la falta de la luz solar por medio de un control de automatización supliendo de esta manera las necesidades de las personas.

Impacto esperado:

**Marco teórico:**

**DISEÑO Y CÁLCULOS DE ILUMINACION INTERIOR.**

Para comenzar con el diseño de la iluminación interior debe estar íntimamente ligado con el área que va a ser iluminada. Todo diseño de sistemas de iluminación interior debe atender los requisitos generales que le sean aplicables, adicionalmente en ellos se deberán tener en cuenta la forma y tamaño de los espacios, los colores y las reflectancias de las superficies del salón, la actividad a ser desarrollada, la disponibilidad de la iluminación natural y también los requerimientos estéticos requeridos por el usuario. (RETILAP 2018)

**NIVELES DE ILUMINACION O LUMINANCIAS Y SU DISTRIBUCION**

- a) **Niveles de Iluminancia.** En lugares de trabajo se debe asegurar el cumplimiento de los niveles de iluminancia, adaptados de la norma ISO 8995 “Principles of visual ergonomics -- The lighting of indoor work systems”. (RETILAP 2018)

El valor medio de iluminancia, relacionado en la citada tabla, debe considerarse como el objetivo de diseño y por lo tanto esta será la referencia para la medición en la recepción de un proyecto de iluminación.

Lugar	UGR.	Niveles de Iluminancia (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Auditorio	19	300	500	750

Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades Fuente para UGR, Norma UNE EN 12464-1 de 2003

**b) Distribución de Luminancias.** Corresponde a la sensación de claridad de una fuente de luz o un objeto iluminado, por lo tanto, una buena distribución de luminancia, ayuda a la agudeza visual, sensibilidad al contraste y eficiencia de las funciones oculares. Por el contrario, una inadecuada distribución de luminancias contribuye al deslumbramiento, a la fatiga por contrastes muy altos o, a la monotonía por contrastes demasiado bajos.

Para lograr una buena distribución de luminancias es necesario tener en cuenta los valores de

Reflectancia de las superficies de techos, paredes, pisos y plano de trabajo. Para efectos de diseño y cálculo se deberán considerar los valores de reflectancia

Recuerda que, para realizar el proceso de cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, puedes utilizar dos métodos:

1. Método de los Lúmenes, también denominado, Sistema General o Método del Factor de utilización, El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de  $\pm 5 \%$  y nos da una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación.
2. Método del punto por punto (o de iluminancias puntuales): Este método se utiliza si lo que deseas es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Cálculo del flujo luminoso total necesario. La fórmula que vas a emplear es la siguiente:

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Ecuación 1. Definición del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita.

Dónde:

$E_m$  = nivel de iluminación medio (en LUX)

$\Phi_T$  = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en LÚMENES)

$S$  = superficie a iluminar (en m<sup>2</sup>).

Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización (CU) y de mantenimiento (Cm), que se definen a continuación:

$C_u$  = Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

$C_m$  = Coeficiente de mantenimiento. Es el cociente que indica el grado de conservación

de una luminaria.

## **APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL**

Para disminuir el consumo de energías comerciales asociadas al alumbrado, en toda construcción que requiera iluminación para desarrollar cualquier tipo de actividad, se debe utilizar hasta donde sea posible la luz natural proporcionada por la energía radiante del sol, la cual está disponible a lo largo del día en forma directa o a través de la bóveda celeste. La fuente de luz considerada para el cálculo del aprovechamiento de la luz natural es la bóveda celeste, y en su utilización deben aplicarse los siguientes criterios: (RETILAP 2018)

- a. Para el aprovechamiento de la luz natural se debe disponer en lo posible de ventanales y claraboyas que además del acondicionamiento ambiental y la ventilación del local, permiten el contacto visual y físico con el exterior, lo cual contribuye al bienestar y satisfacción de los usuarios. El diseño de ventanas y aberturas como claraboyas, debe ser tenido en cuenta desde la etapa del diseño de la edificación y no dejar para que sea resuelta exclusivamente por los diseñadores de iluminación.
- b. Se debe aprovechar la luz natural mediante la difusión y reflexión de los rayos solares hacia los interiores, pues de lo contrario los ocupantes de los edificios tienden a eliminar totalmente el ingreso de luz solar y a reemplazarla por iluminación artificial,
- c. En un proyecto de iluminación, se debe conocer el potencial de luz natural, hacer una coordinación entre el alumbrado natural y artificial y, seleccionar el equipamiento para el control de la iluminación artificial y natural
- d. Se debe tener conocimiento de la disponibilidad de luz exterior, tanto en sus niveles de radiación como en sus periodos de duración, de acuerdo a las horas de los días con cielos despejados, parcialmente despejados y cielos nublados. Para lo cual deben consultar las bases de datos con los registros de luz natural en forma regular de las diferentes regiones del país que tienen diferentes entidades. (RETILAP 2018)

### **Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación**

Hay tres formas en la que intensidad luminosa producida por la luz día puede alcanzar un punto en un plano horizontal dentro de un espacio interior. (Ver Figura 410.2.1.b.)

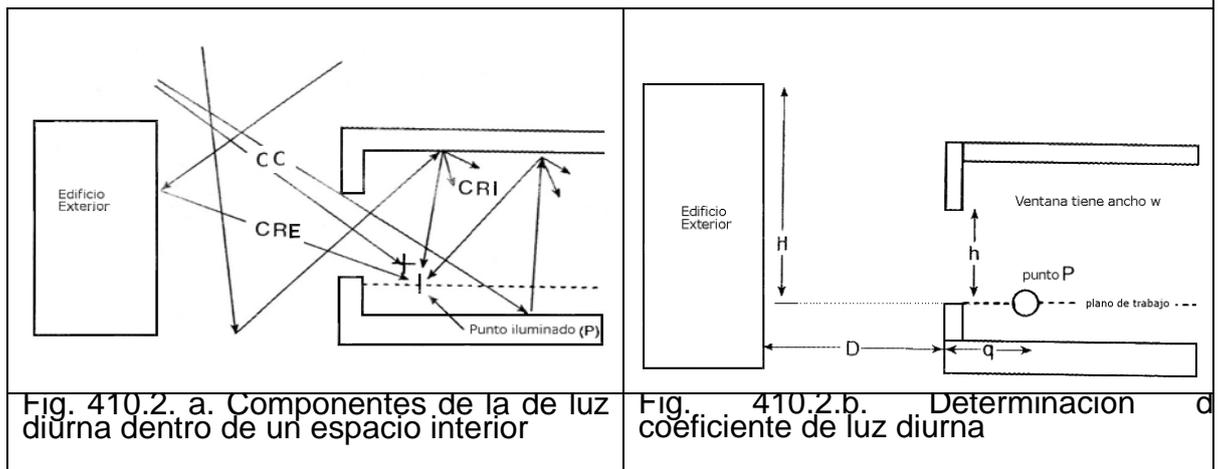
⇒ La componente del cielo (CC), debido a la luz del día recibida directamente en el punto desde el cielo.

⇒ La componente reflejada externamente (CRE), debido a la luz día recibida directamente en el punto de superficies reflectivas externas.

⇒ La componente reflejada internamente (CRI) debida a la luz día que alcanza el punto después de una o más reflexiones de superficies interiores.

La intensidad luminosa dentro de un espacio interior, producida por la de luz diurna, es la suma de las tres componentes,  $L_{int} = CC + CRE + CRI$ , ver figura 410.a. Se descarta la parte de la ventana que se encuentren bajo el plano de trabajo.

La iluminación en un punto P de interés donde está el plano de trabajo, está afectada por la altura H por encima del plano de trabajo de edificios exteriores, la distancia D del edificio y el plano de la ventana y el ancho w y altura h por encima del plano de trabajo, como se muestra en la figura 410.2 b. (RETILAP 2018)



(RETILAP 2018)

Coeficiente de luz diurna (CLD) La disponibilidad de luz natural en interiores y su potencial de ahorro de energía debe estimarse mediante el coeficiente de luz diurna promedio (CLD).

El CLD expresa la relación, en porcentaje, entre la iluminancia promedio interior ( $E_{int}$ ) producida por la luz natural a la altura del plano de trabajo y la iluminancia en el exterior ( $E_{ext}$ ) determinada en el mismo instante en un cielo uniformemente nublado y sin obstrucciones, ver figura 410.2.1. (RETILAP 2018)

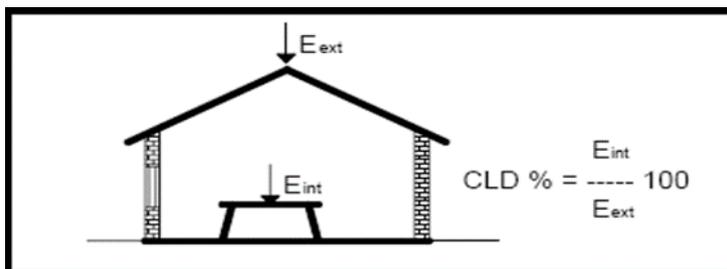


Figura 410.2.1 El coeficiente de luz diurna

La iluminancia promedio interior se medirá conforme a la sección 490 (“Procedimientos para las mediciones fotométricas en iluminación interior”). Para la medición de la iluminancia exterior en consideración a la condición definida para su uso en el indicador de CLD, o de alta uniformidad, se requerirán de una medición en un sólo punto.

El coeficiente de luz diurna (CLD) cuantifica los efectos del exterior y del interior en la iluminancia de un espacio interior considerado en una edificación.

**Requisitos para hacer aprovechamiento de la luz natural:** Dentro del diseño de una instalación de iluminación se deben seguir los siguientes requisitos.

En la Tabla 410.2.2 a. se establecen los valores medios del CLD para la realización de tareas en función de su dificultad visual en locales de trabajo. Valores que deberán ser aplicados por los diseñadores tanto de iluminación como de los responsables del dimensionamiento y construcción de ventanas, claraboyas y similares

Clasificación de la tarea según su dificultad	CLD promedio %	Ejemplos típicos de aplicación
Reducida	1	Circulación, depósitos de materiales toscos, etc.
Mediana	2	Inspección general, trabajo común de oficina.
Alta	5	Trabajos de costura, dibujo, etc.
Muy alta	10	Montaje e inspección de mecanismos delicados.

Tabla 410.2.2 a. Valores del coeficiente de luz diurna promedio según la dificultad de la tarea

**Metodología:**

- **FASE 1, ELABORAR UN DIAGNOSTICO.**

En el presente proyecto se abordará una investigación con enfoque cuantitativo. Esta investigación permitirá dar un diagnóstico inicial del sistema de iluminación actual en el auditorio; los resultados de este diagnóstico nos darán un conocimiento de iluminación actual, para así realizar el nuevo diseño.

- **FASE 2, DISEÑO DE DIAGRAMA.**

Luego de conocer la zona a iluminar y la clase de actividad que se ha de realizar allí se debe especificar el nivel de iluminancia media requerida para dicha edificación. Para hacerlo se hace un diagrama mediante un software llamado DIALuz el cual nos permite el cálculo de iluminación para realizar el nuevo proyecto integral de luz teniendo en cuenta los estándares del RETILAP, y así visualizar las ventajas o desventajas de cada sistema de iluminación

- **FASE 3, COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO.**

Se pretende mostrar los beneficios y los costos que tienen los tubos solares mediante una tabla de comparación con la luminaria actual, esto con el objetivo de evidenciar la alternativa más favorable para las Unidades Tecnológicas De Santander

- **FASE 4, ENTREGA DEL PROYECTO FINAL**

Previamente culminado y organizado todo el estudio anterior, procederemos a realizar la entrega del proyecto a la coordinación de la tecnología en operación y mantenimiento electromecánico.

### 3 RESULTADOS

Basados en los protocolos del fabricante las curvas fotométricas específicas del tubo solar Especificas del tubo solar no son transferidas por políticas de seguridad y derechos del autor del fabricante, agregado a esto el fabricante expresa que no se puede generar unas curvas específicas ya que la variable de entrada de la luminosidad dependería de la zona y clima en el cual se instalan los tubos solares por tal razón no se puede estipular unas curvas específicas de estos tubos solares. Como recomendación de los dueños de la patente enfatizan que para realizar el diseño se debe basar específicamente en una luminaria que tenga las especificaciones como lo muestra la tabla 5.

Previo a la realización del diseño luminotécnico, el cual, nos indica la implementación de doce tubos solares, revisando la ficha técnica de dicho sistema, como se puede apreciar en la tabla 5. El software Dialux arroja un diagrama de índice de deslumbramiento unificado, donde, se puede denotar en el anexo 4, la cantidad de lúmenes que tendría el auditorio así entrando en el rango del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público con este nuevo sistema como lo muestra la tabla 4.

La respectiva toma de datos y los resultados como se muestra en la tabla 6, se pudo establecer que el consumo de energía eléctrica anual por las lámparas actuales que están ubicadas en el auditorio de las Unidades Tecnológicas de Santander, haciendo una proyección de aumento del 3,5% en el recibo de luz como lo de nota la electrificadora de Santander.

El cual se hace el análisis de la luz artificial comparada con las luz natural para implementar, la solución más económica y favorable a futuro como se muestra en la gráfica 1.3 y en la tabla 7.

Basados en el diseño recomendado por el software Dialux se realiza la distribución de los tubos solares de proyección de iluminación solar como lo muestra el anexo 1, en la figura 14, se evidencia el diagrama multifilar que alimentara los actuadores que realizan el funcionamiento de dámper con especificaciones como se muestra en la tabla 7.

Cabe aclarar que el control del dámper es inalámbrico, el cual quiere decir que no requiere un diagrama unifilar de control sino que se controla por medio de un control remoto portátil

<b>Especificaciones técnicas del montaje del dámper</b>	<b>Medida</b>
Calibre del cable	12
Metraje	60 metros
Potencia consumida cada uno	230w-2A
Tubería PVC	60 metros

Tabla 1. Especificaciones montaje de cableado de alimentación al dámper

Fuente: autores

Para el montaje de los actuadores del dámper es necesario seguir unas especificaciones técnicas que muestra el fabricante las cuales se detallan en la tabla 7. Por parámetros de la electrificadora en la normas para cálculos y diseños de distribución, apartado 3.1.12.8.2 así se logra seleccionar el calibre del cable.

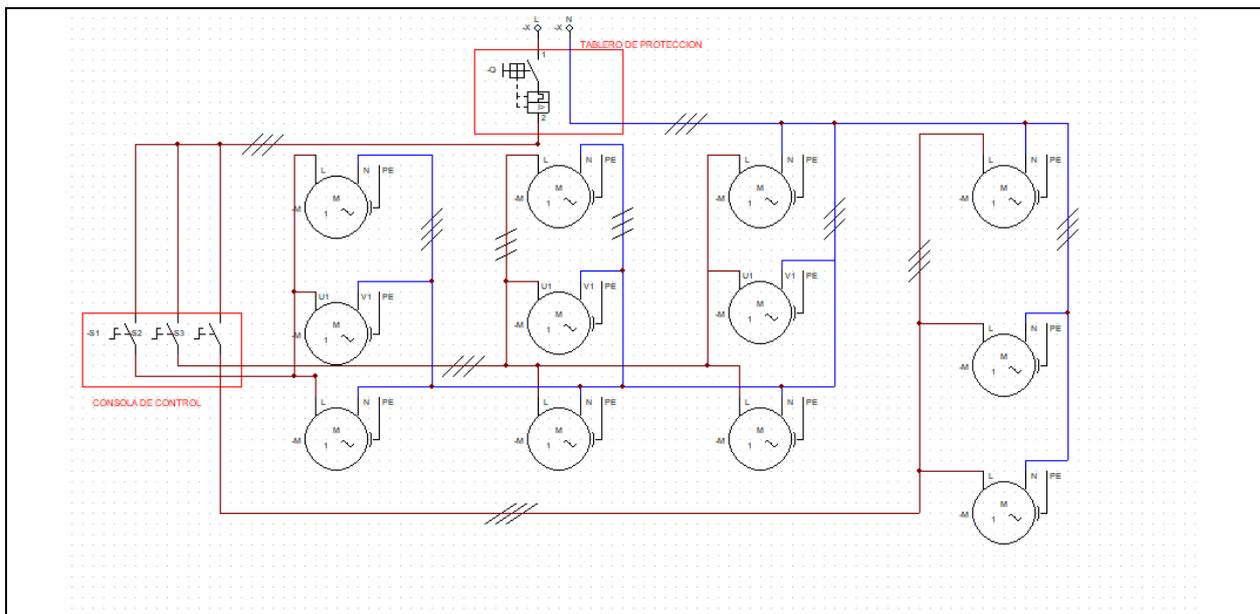


Figura 1. Diagrama multifilar con el dampfer cerrado
   
 Fuente: autores

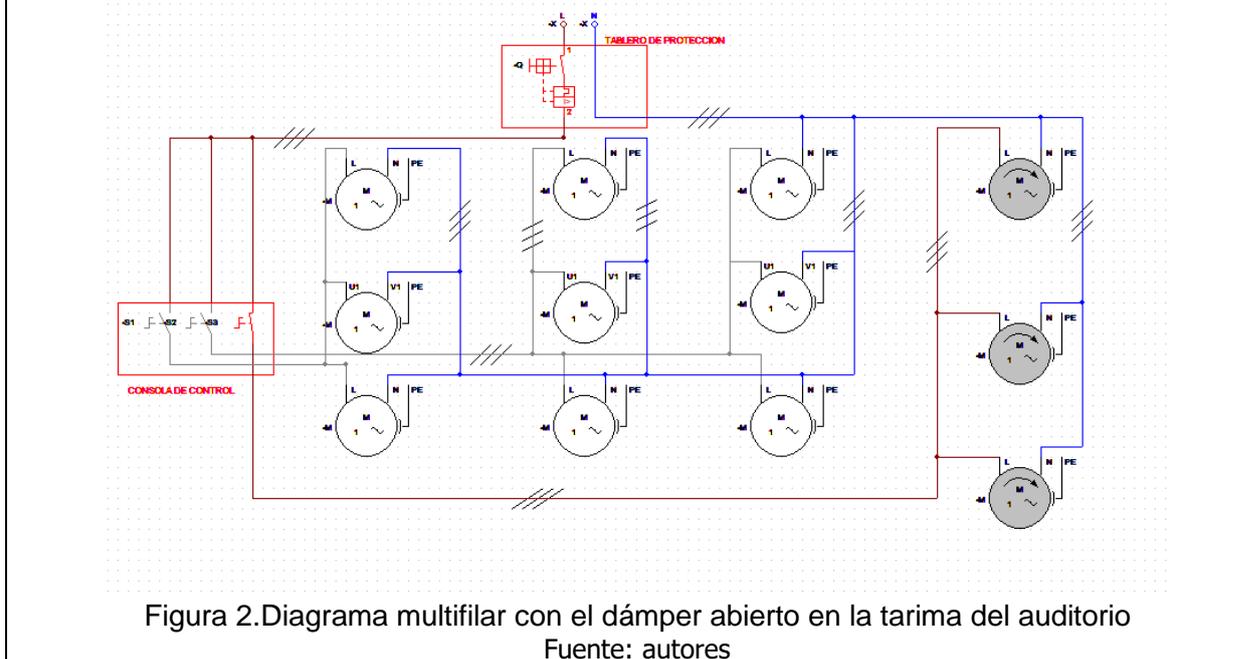


Figura 2. Diagrama multifilar con el dampfer abierto en la tarima del auditorio
   
 Fuente: autores

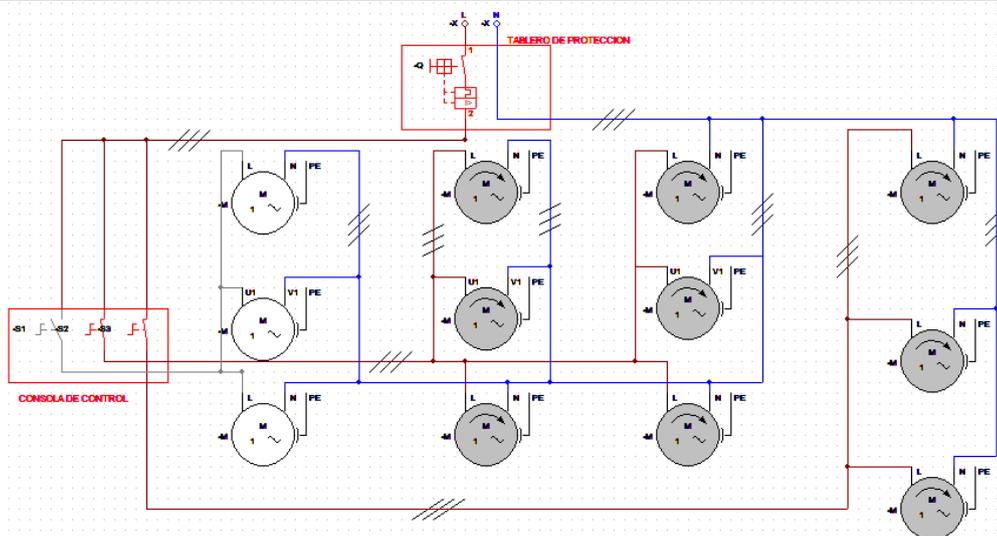


Figura 3. Diagrama multifilar con el dampfer abierto hasta la mitad del auditorio.  
Fuente: autores

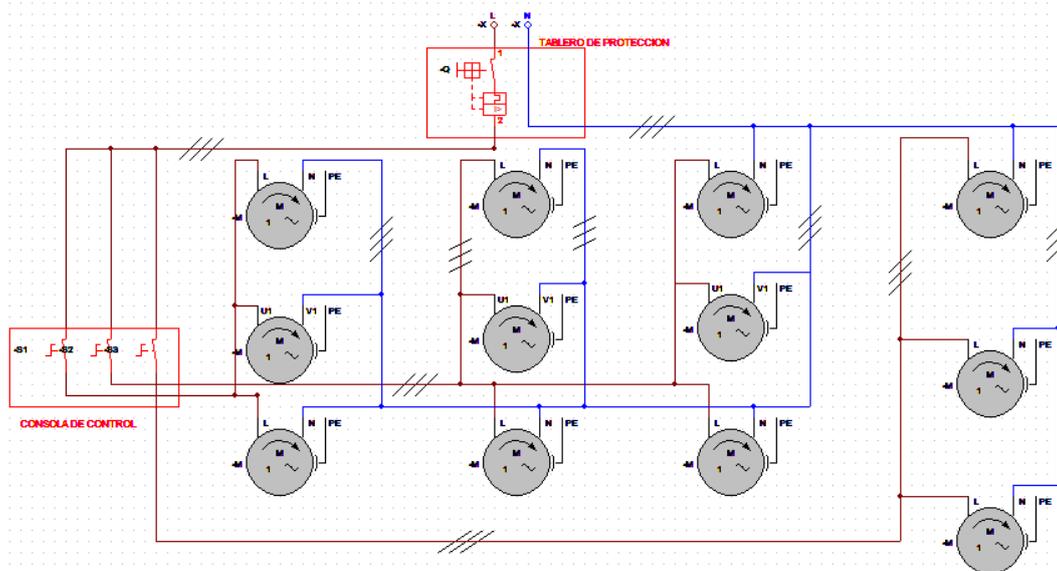
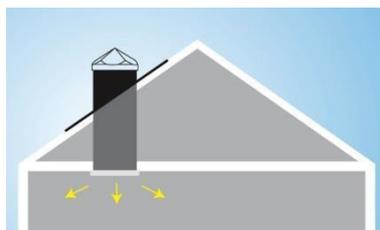


Figura 4. Diagrama multifilar con el dampfer abierto en todo el auditorio.  
Fuente: autores

REF	CONCEPTO	PRECIO UN	UNID	TOTAL
<i>FHTS530</i>	<i>Kit - TS530, Tubo Solar para tejado inclinado</i>	<i>1,017,817</i>	12	<i>12,213,804</i>

	con <i>Base Inclinada</i>			
--	---------------------------	--	--	--

**Kit Tubo Solar para tejado Inclinado**



<i>Domo equipado con falda y filtro anti condensación</i>	<i>Kit Max-Lighting + Cuello para tubo</i>	<i>Base tipo 2 en PE (*opción)*7,5° (5°-10°)</i>	<i>Tubo Reflector 530mm</i>	<i>Difusor tipo B</i>

**Elementos Opcionales**

REF	CONCEPTO	PRECIO UN	UNID	TOTAL
 FHDS530	<i>Extensión Tubo Solar 2.040m m</i>	<i>1, 455,634.85</i>	12	<i>17,467,608</i>
 FHDS530	<i>Registro Motorizado</i>	<i>1, 812,043.73</i>	12	<i>21,744,516</i>

**TOTAL: \$ 51, 425,928**

**PROYECCION AUMENTO DEL 3.5% EN EL RECIBO DE LUZ**

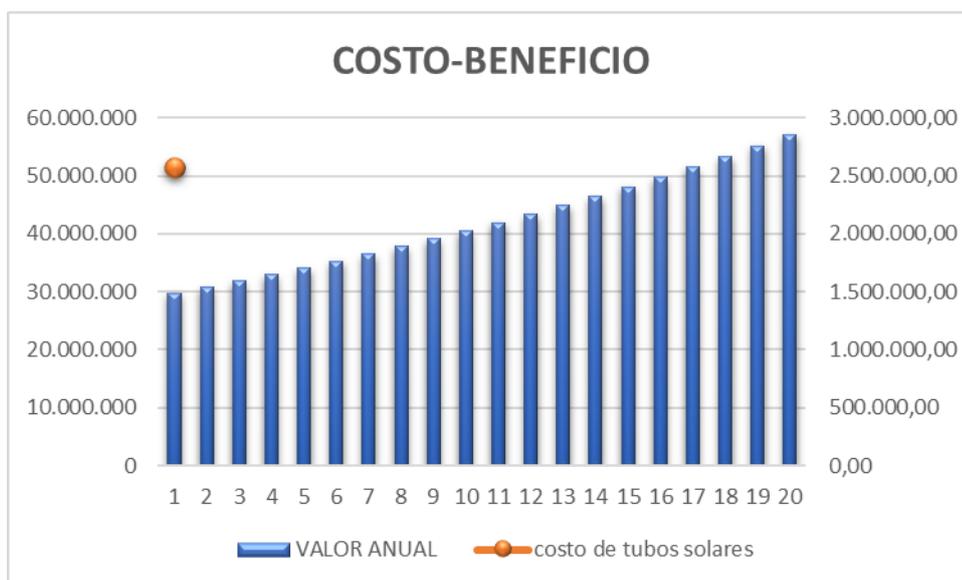
<b>AÑO</b>	<b>VALOR(PESOS)</b>
1	1,485,665.28

2	1,537,663.56
3	1,591,481.79
4	1,647,184
5	1,704,835.08
6	1,764,504.31
7	1,826,261.96
8	1,890,181.13
9	1,956,337.47
10	2,024,809.28
11	2,095,677.6
12	2,095,677.6
13	2,095,677.6
14	2,095,677.6
15	2,095,677.6
16	2,095,677.6
17	2,095,677.6
18	2,095,677.6
19	2,095,677.6
20	2,095,677.6

Tabla 2. Resultados obtenidos por la ecuación 4  
Fuente: Autores

<b>CONSUMO DE 20 AÑOS</b>	40,528,476.12
<b>COSTO DE TUBOS SOLARES</b>	51,425,928

Tabla 3. Resultados  
Fuente: Autores



Grafica 1. Resultado tabla 6

Fuente: Autores

Luz natural	Luz artificial
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Es un eficiente sistema de respaldo para iluminación en caso de problemas con el suministro de energía eléctrica</li> <li>✓ Ofrece una gran calidad de luz natural</li> <li>✓ Total impermeabilidad</li> <li>✓ incrementa el valor del activo y aumento en un 50% de la vida útil de los sistemas de iluminación artificial existentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No depende de la hora ni de las condiciones climáticas, así que puedes obtener una buena exposición a cualquier hora del día.</li> <li>✓ Puedes crear ambientes, ya que te da la posibilidad de imitar a la luz natural y recrear escenarios diurnos o nocturnos sin dificultad</li> <li>✓ Corrige los contraluces indeseados</li> </ul>

Tabla 4.Comparación luz diurna-luz artificial  
Fuente: (digital, 2019)

Bibliografía:

- *Aprovechamiento de luz natural. tomada en [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10055\\_GT\\_aprovechamiento\\_luz\\_natural\\_05\\_ff12ae5a.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf).*
- *COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Reglamento Técnico de iluminación y Alumbrado Público. RETILAP. Bogotá D.C 2009.243p.*
- *Normatividad para la energía renovable en Colombia buscado en <http://www.ccc.org.co/file/2016/04/Ritmo-Bioenergia-Bioenergia.pdf>*
- *La estrategia de la luz natural en los espacios tomada de <http://publiditec.com/blog/la-estrategia-de-iluminacion-natural-en-los-edificios/>*
- *Regulación de la integración de las medidas de energía renovables no convencionales al sistema energético nacional. [http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf).*
- *Estudio sobre iluminación natural en lugares con poco acceso de luz <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5780/621322Q7.pdf?sequence=1>*
- *LUMINOTECNIA: Calculo según el método de los lúmenes <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1culo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20l%C3%Amenes.pdf>*

- *STRAUB HALL: Auditorio con luz natural en LUMINET revista de iluminación ON LINE <http://www.iluminet.com/straub-hall/>*
- *Wyszecki, G.; Stanley S., (1982), Color Science: concepts and methods, quantitative data and formulae, John Wiley and Sons, UK. (Esta publicación sigue siendo importante para el estudio del cálculo lumínico.)*
- *Colombia reglamento su ley de generación distribuida mediante renovables <http://www.energiaestrategica.com/colombia-publica-la-reglamentacion-la-generacion-distribuida/>*