

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE 1ra. Ed.



EN COLABORACIÓN CON:



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TESIS:

**“PROPUESTA DE AHORRO ENERGETICO MEDIANTE SISTEMAS DE APORTE DE LUZ  
NATURAL EN LOS EDIFICIOS DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL  
SALVADOR”**

AUTOR: MARIO ERNESTO MARTINEZ FLORES  
INGENIERO ELECTRICISTA

TUTOR: MSc. JAIME AREVALO

LEÓN, MARZO DEL 2014

## RESUMEN

La presente estudio de ahorro energético ha sido realizado con el fin de estudiar el potencial de los sistemas de aporte de luz solar y en particular del sistema SOLATUBE, en cuanto a su capacidad de iluminar espacios al interior de edificios en donde debido a su diseño arquitectónico la luz natural por su naturaleza no puede llegar.

La iluminación de espacios a través de luz natural con el sistema SOLATUBE, se aplicara en el campus Central de la Universidad de EL Salvador y dado que la muestra al interior del campus es muy grande, alrededor de 35 edificios, se ha seleccionado el edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura como el caso de aplicación del estudio.

En la actualidad, la utilización de este tipo tecnología no ha sido explotada significativamente en nuestro país y en muchas ocasiones la tecnología que más se aproxima al sistema SOLATUBE, se ha limitado a la utilización de “claraboyas”, “traga luces” o “domos” en naves industriales o en edificios con condiciones que permitan su instalación, esto como una opción de aprovechar la luz solar durante el día y minimizar de esta forma los costos operativos por el consumo de energía eléctrica debido al uso de iluminación artificial.

El documento está organizado en tres etapas, en el CAPITULO 1 se presenta la metodología documental y los conceptos teóricos fundamentales de la naturaleza de la luz natural, que contribuyan a la comprensión de la propuesta de iluminación con luz natural en el interior de edificios, y en particular utilizando el sistema SOLATUBE. En el CAPITULO 2 se presenta la metodología de la simulación, que evalúa la situación de la Unidad de Ciencias Básicas desde el punto de vista de ubicación, confort y consumo energético debido a los rubros de iluminación general, climatización y artefactos, a fin de establecer una tendencia predominante de consumo por cada rubro, además se

establecen los criterios de simulación que se utilizaran en el software DIALux 4.11, y en el CAPITULO 3 se realiza una discusión de los resultados, obtenidos a través de la simulación con el software DIALux 4.11, de los proyectos de iluminación uno utilizando luminarias LED y el otro tubos de luz de la empresa SOLATUBE, los proyectos son evaluados mediante el método del valor actual neto (V.A.N.) y el método de la tasa interna de retorno (T.I.R), a fin de poder determinar cuál es la opción tecnológica para iluminación en la que existe ahorro energético, y de esta manera poder generar suficientes datos que puedan servir de insumos para la toma de decisión.

## **ABSTRACT**

The present study of energy saving has been performed in order to study the potential delivery systems sunlight and in particular SOLATUBE system, regarding their ability to illuminate spaces inside buildings where due to its architecture natural light by its nature can not reach.

The lighting of spaces through natural light with SOLATUBE system was applied in the central campus of the University of El Salvador and as the sample inside the campus is very large, about 35 houses is selected building cubicles for teachers Unit Basic Sciences, Faculty of Engineering and Architecture and the case study application.

At present, the use of such technology has not been exploited significantly in our country and in many cases the technology that comes closest to SOLATUBE system has been limited to the use of "skylights", "swallows light" or "domes "in industrial buildings or buildings with conditions that allow its installation, this as an option to take advantage of sunlight during the day and thus minimize operating costs for electricity consumption due to the use of artificial lighting.

The document is organized in three stages, in Chapter 1, the documentary methodology and fundamental theoretical concepts of the nature of natural light, contributing to the understanding of the proposed daylighting within buildings is presented , and in particular using the SOLATUBE system. The methodology of simulation to assess the status of the Unidad de Ciencias Basicas (UCB) from the point of view of location , comfort and energy consumption due to the areas of general lighting , air conditioning and appliances , is presented in Chapter 2 in order to establish a prevailing consumer trend for each category , plus simulation criteria to be used in the DIALux software 4.11 down , and in Chapter 3, a discussion of the results obtained through the simulation with 4.11 DIALux software is made, of lighting projects one by using LED lights and other light pipes company

SOLATUBE , projects are evaluated by the method of net present value (NPV ) method and the internal rate of return (IRR ) , to determine which technology option for lighting in the existing energy saving, and thus be able to generate enough data that can serve as inputs for decision making.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO I – METODOLOGIA DOCUMENTAL Y FUNDAMENTOS TEORICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. INTRODUCCION .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. METODOLOGIA DE TRABAJO .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. FUNDAMENTOS TEORICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1. LUZ Y CALOR.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.2. MAGNITUDES DE LA LUZ .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.3. LEYES DE LA LUZ.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.5. VISION HUMANA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.5.1. AGUDEZA Y CAMPO VISUAL.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.5.2. ADAPTACION A LA INTENSIDAD DE LA LUZ.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.6. FUENTES LUMINOSAS.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.7. RANGO DE NIVELES DE ILUMINACION.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4. LUZ NATURAL.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.1. ENERGIA RADIANTE DEL SOL.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.2. ENERGIA QUE LLEGA A LA SUPERFICIE.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.3. CRITERIOS DE DISEÑO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4.4. CALCULO DE ILUMINACION NATURAL.....</b>	<b>20</b>
<b>1.4.5. SISTEMAS DE APORTE DE LUZ SOLAR.....</b>	<b>21</b>
<b>1.4.6. DESCRIPCION DEL SISTEMA SOLATUBE.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4.7. RESUMEN.....</b>	<b>27</b>
<b>CAPITULO II - METODOLOGIA DE LA SIMULACION.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1. INTRODUCCION.....</b>	<b>29</b>

2.2. LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.....	29
2.2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	29
2.2.2. ENTORNO URBANO.....	30
2.3. LA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.....	30
2.3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	30
2.3.2. DATOS GENERALES.....	31
2.3.3. CONSUMO ENERGETICO.....	31
2.4. LA UNIDAD DE CIENCIAS BASICAS.....	32
2.4.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	32
2.4.2. DATOS GENERALES.....	33
2.4.3. CONSUMO DE ENERGIA.....	33
2.5. EDIFICIO DE CUBICULOS PARA DOCENTES.....	34
2.5.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	34
2.5.2. DATOS GENERALES.....	35
2.5.3. CONSUMO ENERGETICO.....	36
2.6. SOFTWARE PARA EL CALCULO DE ILUMINACION.....	37
2.7. CRITERIOS DE MODELIZACION.....	39
2.8. RESUMEN.....	41
<b>CAPITULO III – DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
3.1. INTRODUCCION.....	42
3.2. APORTE LUMINICO.....	42
3.2.1. SITUACION ACTUAL EN LA ILUMINACION DEL LOCAL.....	43
3.2.2. ILUMINACION DEL LOCAL CON LUMINARIAS LED.....	46
3.2.3. ILUMINACION DEL LOCAL CON EL SISTEMA SOLATUBE.....	47
3.3. ANALISIS ECONOMICO.....	50
3.3.1. METODO DEL VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.).....	51
3.3.2. METODO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (T.I.R.).....	53
3.4. RESUMEN.....	54
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>59</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO - TECNOLOGIA DE ILUMINACION NATURAL DE LA EMPRESA SOLATUBE ....</b>	<b>63</b>

## **INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La energía es imprescindible para el desarrollo de nuestro entorno, gracias a ella podemos realizar gran parte de la actividad humana en el mundo desarrollado. Es la principal fuente de bienestar, y al mismo tiempo, la principal causa de problemas medioambientales para el planeta y el desencadenante de problemas económicos.

Las fuentes de energía más utilizadas en el mundo desarrollado están basadas en el uso de combustibles fósiles, estos combustibles fósiles se encuentran en zonas muy determinadas del planeta, son reservas agotables y generan mucha dependencia de aquellos países que las tienen.

En El Salvador, la matriz energética es diversificada pero predominantemente dependiente del consumo de combustibles fósiles. Además, es de mencionar que esta ha crecido en los últimos 20 años en un 18%, mientras que la hidráulica solo un 1.5% y la geotérmica en un 5%.

Hoy en día la energía eléctrica en El Salvador, es utilizada en mayor medida en edificios públicos y privados, cuyos rubros energéticos son básicamente los equipos de iluminación, refrigeración y climatización de ambientes, con el fin de buscar la comodidad y satisfacción de las personas en sus lugares de trabajo o esparcimiento.

Sin embargo, existe un uso inadecuado de la energía eléctrica pues se hace mal uso de los equipos de aire acondicionado, algunos locales están diseñados con niveles de iluminación que no alcanzan o sobrepasan los niveles mínimos recomendados. Es de mencionar también que en el diseño arquitectónico de los edificios, no existe la aplicación de conceptos bioclimáticos, en consecuencia la mayor parte de los requerimientos de confort al interior de las edificaciones se logra a través medios artificiales que consumen cantidades importantes de energía eléctrica.

En este contexto, el Gobierno Central y la Asamblea Legislativa de El Salvador publicaron la Política de Ahorro y Eficiencia Energética (Decreto No 78). Bajo este argumento institucional, surge el tema de investigación con el objetivo de evaluar los sistemas de aporte de luz natural como una alternativa de ahorro de energía eléctrica en iluminación de interiores durante el día, en los diferentes edificios del Campus Central de la Universidad de El Salvador, con miras al cumplimiento del mandato Parlamentario.

Esta iniciativa gubernamental ha motivado a la Maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente a proponer este estudio que analiza la conveniencia o no de los sistemas de aporte de luz natural, como una alternativa de solución que sea factible y viable y que además pueda ayudar a afrontar el problema del gasto excesivo en el servicio eléctrico debido al rubro de iluminación.

## **ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION**

La iluminación natural ha sido parte de la arquitectura desde el principio de las construcciones, pero fue a raíz de la aparición de la luz artificial cuando quedó relegada a un segundo plano. Las nuevas normativas de obligado cumplimiento junto con el buen hacer constructivo son los que están obligando a redirigir la edificación hacia un modelo más sostenible y amigable con el medio ambiente, dicho en otras palabras lo que se está tratando de reducir es el uso de energías no renovables.

La anterior surge a raíz de que la facturación eléctrica en el Campus Central de la Universidad de El Salvador pagada a la distribuidora AES CAESS S.A. de C.V. alcanzo en los meses de noviembre y diciembre del 2012 la cantidad de US\$ 103,365.09 y en todo el año una cantidad de US\$ 1, 029,236.52, esta última cantidad significando aproximadamente el 1.6% del presupuesto de toda la Universidad.

Ante esta problemática en el 2009, la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) toma la iniciativa y acuerda la creación del Comité para la Administración de la Energía de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (acuerdo JF 084 2009) [6]. Posteriormente, en 2011, el Consejo Superior Universitario (CSU) de la UES se pronuncia con el Acuerdo No 095-2009-2011-E(VI-1) en donde establece Las Políticas para el Fomento del Ahorro y Eficiencia del consumo de Energía Eléctrica en la UES [7]. Y en el 2012, a nivel gubernamental, la Honorable Asamblea Legislativa de la República de El Salvador lanza la “LA POLÍTICA DE AHORRO Y AUSTERIDAD DEL SECTOR PÚBLICO 2012” con el decreto No 78 publicado en el Diario Oficial [8], cuyo objetivo principal (Art. 1) dice: “Generar ahorro y que el gasto se ejecute con criterios de austeridad y racionalidad, a efecto de darle cumplimiento a las prioridades y metas establecidas en cada institución”. Y en lo que respecta a la utilización racional de la Energía Eléctrica, el Art. 5 inciso e) numeral 2) referente a Adquisiciones de bienes y servicios, dice: “Hacer uso racional de la energía eléctrica, evitando mantener lámparas encendidas en oficinas o instalaciones con

suficiente iluminación natural y apagando aquéllas que no estén siendo utilizadas; además, se deberá regular el uso de equipo de alimentación eléctrica como cafeteras, oasis y en especial, los equipos de aire acondicionado en lugares que cuenten con ventilación natural, en horas no laborales y a las temperaturas de funcionamiento razonables, procurando que el consumo y la capacidad contratada del suministro de energía eléctrica sea acorde con la demanda institucional. De forma complementaria y en el marco de las medidas propuestas por el Consejo Nacional de Energía CNE, según las atribuciones establecidas en su Ley de Creación, se debe impulsar la conformación del Comité de Eficiencia Energética Institucional COEE, a fin que éste pueda coordinar la implementación y adopción de acciones y medidas adicionales para el uso eficiente de la energía eléctrica en las instituciones públicas.”

Por lo tanto, si la utilización de sistemas de aporte de luz natural pueden contribuir a disminuir el consumo de energía eléctrica en lo que respecta a iluminación en los edificios de la Universidad, y en particular tomando como muestra el edificio de cubículos de la Unidad de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, entonces es justificable realizar un estudio sobre el tema a fin de poder cuantificar en qué medida y cuáles son sus ventajas y desventajas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERAL**

Evaluar los sistemas de aporte de luz natural en los edificios del Campus Central de la Universidad de El Salvador, como medio de ahorro energético en espacios de edificios en los que por su configuración arquitectónica no llegue la luz natural de forma directa.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar el sistema de aporte de luz natural SOLATUBE, como una medida de ahorro energético en iluminación, en el interior del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.
- Utilizar el Software DIALux 4.11 como herramienta de diseño y simulación para iluminación de espacios al interior de edificios, que cumplan con los niveles iluminación según la norma Española UNE-EN 12464-1.
- Determinar la topología del sistema de iluminación más adecuado para espacios de edificios en los que no llegue la iluminación natural en forma directa.
- Comparar dos proyectos de iluminación sobre el mismo espacio de trabajo, uno con tecnología LED y otro con el sistema SOLATUBE para iluminación con luz natural, a través de los métodos del “Valor Actual Neto (VAN)” y la “Tasa Interna de Recuperación (TIR)”, a fin de determinar cuál de ellos es desde el punto de vista económico el que más conviene.

## CAPITULO I

### 1. METODOLOGIA DOCUMENTAL Y FUNDAMENTOS TEORICOS.

#### 1.1. INTRODUCCION

Cuando se realiza una investigación sobre un problema, siempre se hace necesario organizarla a través de un conjunto de procedimientos que establezcan reglas claras, lógicas y demostrables, a fin de obtener resultados satisfactorios sobre el problema que se analiza.

En este capítulo se describe la metodología documental que se utilizó en la realización de la “Propuesta de ahorro energético mediante sistemas de aporte de luz natural en los edificios del campus central de la Universidad de El Salvador”.

#### 1.2. METODOLOGIA DE TRABAJO

Los pasos que se siguieron para la realización de esta propuesta se presentan a continuación:

- **Fase consulta:** búsqueda de documentación sobre los diferentes tipos de tecnologías de iluminación natural y artificial utilizada para interiores de edificios, esto logrado a través de la consulta de fuentes bibliográficas, así como de las páginas de Internet relacionadas con el tema.
- **Fase de síntesis:** se valoró y analizo toda la documentación que se obtuvo sobre el tema, con el fin de realizar una síntesis de la información y a través de esto delimitar el estudio de la propuesta del tema.
- **Fase teórica:** con base a toda la información bibliográfica relacionada con la propuesta, se establece un fundamento teórico que defina y explique los conceptos teóricos principales para la comprensión de la propuesta bajo estudio.
- **Fase referencial:** Se establece una línea base, correspondiente a las condiciones actuales del local a evaluar, para que sirva de referencia al momento de compararla con los diferentes proyectos de iluminación que se abordan en este estudio.
- **Fase de simulación:** Se simulan los proyectos de iluminación con un software para “Proyectos de iluminación de interiores”, seleccionado con base a criterios de gratuidad, funcionalidad y accesibilidad entre otros, y se le

introducen los datos que mejor se apeguen al proyecto físico real y a la tecnología utilizada para iluminación.

La simulación con el Software se efectúan en el mismo local y en las siguientes condiciones:

- ✓ En la condición actual del local en lo que respecta a la tecnología de iluminación utilizada y las condiciones físicas del local.
- ✓ Cuando la tecnología de iluminación utilizada sea LED y manteniendo las condiciones físicas del local sin cambio.
- ✓ Cuando la tecnología de iluminación utilizada sea a través de tubos de luz y manteniendo las condiciones físicas del local sin cambio.

También se analizan tres escenarios utilizando el software de simulación, en lo que respecta a las fuentes de iluminación en el interior del local, en la medida que lo permita en mismo software de simulación:

- ✓ La contribución debido a la luz natural,
- ✓ La contribución debido a la luz artificial, y
- ✓ La contribución total, es decir a la debida por la luz natural y a la debida por la luz artificial.

Para verificar, la calidad de la iluminación en los diferentes escenarios en el proyecto se utilizará la norma Española UNE-EN 12464-1, que establece los valores de los parámetros mínimos para garantizar una adecuada iluminación.

- **Fase de evaluación:** utilizando los resultados suministrados por el software de simulación, se determina si el proyecto de iluminación con tecnología LED o el proyectos que utiliza tubos de luz es más favorable económicamente, a través de la aplicación de los métodos del “Valor Actual Neto” (V.A.N.) y la “Tasa Interna de Retorno” (T.I.R.).
- **Fase de análisis:** Se analizan los resultados obtenidos de la fase de simulación y evaluación, a fin de poder elaborar las conclusiones finales y recomendaciones de nuestro estudio.

### 1.3. FUNDAMENTOS TEORICOS

Las instalaciones de alumbrado artificial son imprescindibles para la iluminación nocturna y para locales de servicio o circulación sin contacto con el exterior, pero es preferible no tener que utilizarlas en locales de estancia habitual durante el día mientras en el exterior exista suficiente iluminación natural. La preferencia de la luz natural no solo se debe a la cantidad y calidad de su flujo, sino también porque contribuye al ahorro energético y a una gestión más sostenible de los edificios.

Sin embargo, la luz natural es una materia prima muy frágil y variable, por lo que se hace necesario conocer un poco de los parámetros que la describen y que influyen a la hora de diseñar un proyecto de iluminación al interior de un edificio.

#### 1.3.1. LUZ Y CALOR

La luz es energía electromagnética visible por el ojo humano, con un rango de longitud de onda entre  $0.38$  y  $0.78 \mu\text{m}$  ( $10^{-6}$  m). Las fuentes de luz suelen ser superficies a alta temperatura, como el Sol ( $T = 5500 \text{ }^\circ\text{K}$ ) o el filamento de las lámparas incandescentes ( $T = 3300 \text{ }^\circ\text{K}$ ), que emiten un espectro continuo con longitudes de onda entre  $0.3$  y  $3 \mu\text{m}$  del que solo es visible en rango luminoso, denominado espectro luminoso.

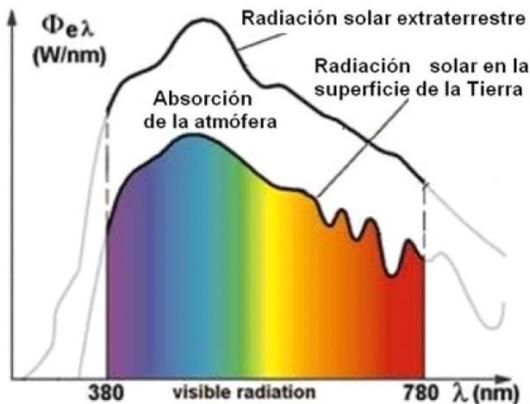
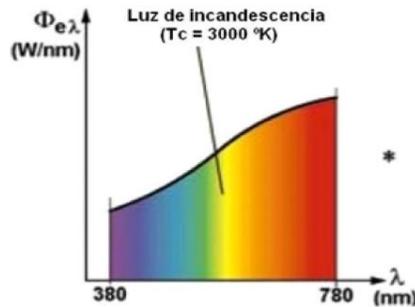


Figura 1.  
Espectro electromagnético de la radiación Solar.

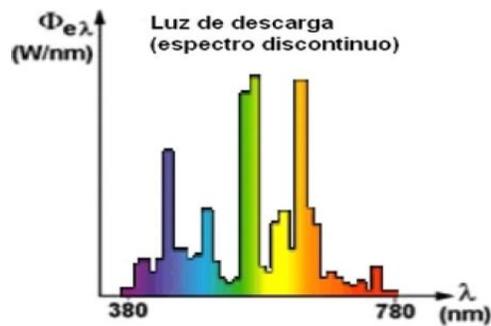
El ojo humano es capaz de distinguir las diferentes longitudes de onda del espectro luminoso y las percibe como el “color” de la luz, correspondiendo los colores violeta-azul a las longitudes más cortas (cerca de  $0.4 \mu\text{m}$ ) y los colores naranja-rojo a las longitudes más largas (cerca de  $0.7 \mu\text{m}$ ).

El conjunto de los colores del arco iris se distribuye de forma continua en el espectro luminoso, y cuando la distribución de la energía en cada longitud de onda es similar a la luz del Sol se percibe el conjunto como “luz blanca”.



**Figura 2.**  
Espectro electromagnético visible por el ojo humano de la radiación Solar.

Las luces “monocromáticas” son radiaciones con una única longitud de onda, mientras que las fuentes térmicas de luz emiten radiación en todas las longitudes de onda del rango visible, por lo que se dice que tienen un “espectro continuo”. Ciertas fuentes de luz de descarga emiten radiación en sólo algunas longitudes de onda del rango visible, denominándose para ello “espectro discontinuo”.



**Figura 3.**  
Espectro electromagnético generado por una lámpara de descarga visible por el ojo humano.

La similitud del espectro de una fuente de luz discontinua con la luz solar se denomina índice de “Rendimiento de color R<sub>g</sub>”, siendo R<sub>g</sub> = 1 para la luz natural o de lámparas incandescentes y R<sub>c</sub> = 0 para luz monocromática, como las lámparas de sodio de baja presión, mientras que las lámparas fluorescentes tienen un R<sub>g</sub> entre 0.7 y 0.9.

La tonalidad de color del espectro continuo de una luz se puede determinar por su “Temperatura de color T<sub>c</sub> (°K)”, correspondiendo a la luz día una T<sub>c</sub> = 5500 °K. Las

lámparas incandescentes tienen una  $T_c = 3000 \text{ }^\circ\text{K}$  aproximadamente, con una tonalidad rojiza (colores cálidos), mientras que la luz de la bóveda celeste tiene una  $T_c$  del orden de  $10,000 \text{ }^\circ\text{K}$ , de tono azulado (colores fríos).

### 1.3.2. MAGNITUDES DE LA LUZ

La medición de la cantidad de luz se fundamenta en la Intensidad ( $I$ ), siendo la candela ( $Cd$ ) una de las unidades fundamentales del Sistema Internacional. Sin embargo, existen otras magnitudes derivadas como el Flujo, la Luminancia, la Iluminancia o el Rendimiento luminoso, que también son importantes y que se definen a continuación:

- **La intensidad luminosa ( $I$ )**, es la energía luminosa emitida en una dirección. Su unidad es la candela ( $cd$ ), que es una unidad fundamental del S.I., y es aproximadamente la intensidad emitida por una vela.
- **El flujo luminoso ( $\phi$ )**, es la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente. Su unidad es el lumen ( $lm$ ), que es la energía emitida por un foco con intensidad de 1 candela ( $cd$ ) en un ángulo sólido de 1 estereorradián ( $1 \text{ m}^2$  a  $1 \text{ m}$  de distancia).
- **La iluminancia ( $E$ )**, o nivel de iluminación, es la cantidad de luz que recibe una superficie, su unidad es el lux ( $lx$ ), que es el flujo luminoso recibido por unidad superficie ( $\text{lux} = \text{lumen}/\text{m}^2$ ). En luminotecnia es muy útil la ley  $E = I \cos \varphi / d^2$ .
- **La luminancia ( $L$ ) o brillo**, es la intensidad ( $I$ ) o flujo de luz ( $\phi$ ) emitido por unidad de superficie. Sus unidades son el Stilb ( $\text{cd}/\text{cm}^2$ ) y el Lambert ( $\text{lm}/\text{cm}^2$ ).
- **El rendimiento luminoso ( $R$ )**, es el flujo emitido por unidad de potencia de las fuentes luminosas ( $\text{lm}/\text{W}$ ). Por ejemplo, una lámpara incandescente tiene una  $R = 14 \text{ lm}/\text{W}$ .

### 1.3.3. LEYES DE LA LUZ

Las leyes que relacionan las diferentes magnitudes luminosas son las que se describen a continuación:

- Flujo luminoso  $\phi$  de una fuente. Es igual a la potencia por el rendimiento luminoso. Si se dispone de una lámpara incandescente de potencia  $P = 100\text{W}$  y el rendimiento luminoso  $R = 14 \text{ lm}/\text{W}$ , el flujo luminoso  $\phi$  será:

$$\phi = P \times R = 100 \times 14 = 1400 \text{ lm}$$

- Intensidad luminosa I. Si la lámpara emite con igual intensidad en todas direcciones distribuirá su flujo en el ángulo sólido  $\omega$  de una esfera:  $4\pi$  sr (estereorradián); por tanto la intensidad será igual al flujo emitido en el ángulo sólido  $\omega$  de 1 sr:

$$I = \phi / \omega = 1400 / 4\pi = 111.4 \text{ cd}$$

- Iluminancia E de una superficie. Se estima por la ley del cuadrado de la distancia, o ley de Lambert. Si hay una superficie a una distancia  $d = 2$  metros y la luz llega con un ángulo de incidencia  $\varphi = 30^\circ$ , la luminancia o nivel de iluminación será:

$$E = I \cos \varphi / d^2 = 111.4 \cos 30^\circ / 2^2 = 24.1 \text{ lx}$$

- Luminancia L de una superficie. El brillo o cantidad de luz que emite una superficie se aplica de forma diferente según sea el caso. Si se trata de una fuente luminosa se suele aplicar el concepto de luminancia  $L_f = I / S$ , medida en Nit ( $\text{cd} / \text{m}^2$ ) o en Stilb medida en ( $\text{cd} / \text{m}^2$ ). En el caso de una lámpara que emita con una intensidad I de 111.4 cd en todas direcciones, desde una esfera de 5 cm de diámetro, equivalente a una superficie visible de  $19.6 \text{ cm}^2$ , la luminancia  $L_f$  sería:

$$L_f = I / S = 111.4 \text{ cd} / 19.6 \text{ cm}^2 = 5.68 \text{ stilb} (\text{cd} / \text{cm}^2) = 56800 \text{ nit} (\text{cd}/\text{m}^2)$$

Si se trata del flujo reflejado de una superficie iluminada se suele aplicar el concepto de luminancia  $L_r = \phi / S$ , medida en ( $\text{lm} / \text{m}^2$ ) o Lambert ( $\text{lm}/\text{cm}^2$ ). En el caso de que la superficie sea un papel blanco que reciba una iluminancia de 24.1 lux y tenga un coeficiente de reflexión  $r = 0.8$ , la luminancia, L sería:

$$L_r = E \times r = 24.1 \times 0.8 = 19.3 \text{ lm}/\text{m}^2 = 0.00193 \text{ lambert} (\text{lm} / \text{cm}^2)$$

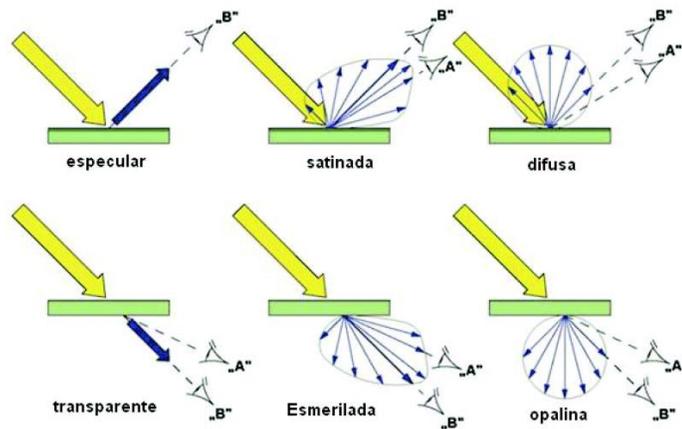
#### 1.3.4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las superficies iluminadas se pueden comportar de manera diferente ante la luz, distinguiéndose las superficies opacas en que la luz se absorbe o refleja, y los materiales traslucidos en que además otra parte se transmite. Los coeficientes del flujo de luz incidente se denominan absortancia  $\alpha$ , reflectancia r y transmitancia  $\tau$  respectivamente.

$$\alpha + r + \tau = 1$$

Además, la luz reflejada se puede reemitir en la misma dirección en las superficies especulares, o dispersarse en todas direcciones en las superficies difusas.

En el caso de materiales translúcidos, la luz se puede transmitir en la misma dirección en las superficies transparentes, o dispersarse en todas direcciones en los materiales opalinos. En la práctica, muchos objetos dispersan la luz de forma combinada, como las superficies satinadas o los materiales esmerilados.



**Figura 4.**  
**Propiedades luminosas de los materiales.**

### **1.3.5. VISION HUMANA**

El ojo humano es un órgano complejo que convierte la luz procedente del campo visual en un estímulo nervioso que será interpretado por el cerebro como una sensación que denominamos visión.

A continuación se comentan algunos procesos fisiológicos de la visión humana, de gran importancia para el diseño lumínico de los espacios habitados.

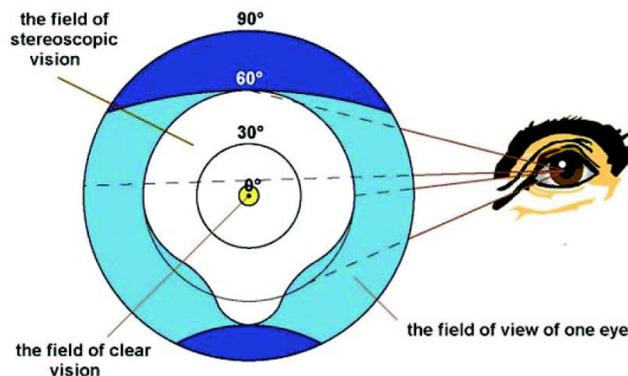
#### **1.3.5.1. AGUDEZA Y CAMPO VISUAL**

El ojo tiene un campo visual bastante amplio, pero con distinta agudeza visual. Por un lado tiene una mayor capacidad de resolución en el foco de la visión, mientras que por otra dicha capacidad disminuye hacia la periferia. Se pueden distinguir los siguientes campos visuales:

- **Campo focal**  
Tiene un diámetro de tan solo 1° y en su eje se alcanza la máxima agudeza visual. Por ejemplo, para leer el ojo se orienta continuamente para apreciar los detalles del entorno.
- **Campo de trabajo**  
Tiene un diámetro de unos 30°. En este campo el ojo percibe una visión del entorno con una agudeza visual buena y aprecia bien la profundidad mediante la visión estereoscópica.
- **Campo estereoscópico**  
Su diámetro es de unos 60°. El ojo percibe aquí una visión del entorno con una agudeza visual media y se mantiene la apreciación de la profundidad mediante la visión estereoscópica.
- **Campo periférico**  
Abarca hasta una desviación lateral e inferior de 90°. En este campo cada ojo percibe una visión de baja resolución del entorno, pero su alta sensibilidad al movimiento ayuda a la orientación y a la prevención de los riesgos.

El campo visual está limitado a unos 60° por encima de la dirección focal, lo cual permite la autoprotección del ojo de fuentes intensas de luz procedentes del cielo, como el Sol, o del techo, como las luminarias artificiales.

La agudeza visual es la capacidad de predecir detalles de visión, y su resolución es máxima en el campo focal. Depende de los factores externos, como el nivel de luminoso de la superficie observada, pero también de la edad y la ausencia de defectos visuales, como la miopía, la hipermetropía o el astigmatismo.



**Figura 5.**  
**Áreas del campo visual humano.**

### 1.3.5.2. ADAPTACION A LA INTENSIDAD DE LA LUZ

El ojo es sensible a la intensidad de la luz que procede de las superficies de su entorno. Dicha intensidad se denomina “luminancia o brillo”, el brillo que procede de las superficies iluminadas depende del nivel de iluminación que reciben (iluminancia) y de su coeficiente de reflexión, distinguiendo entre la reflexión difusa (superficie mate) y la especular (superficie espejeada).

El ojo humano puede adaptarse para la visión en ambientes con diferentes niveles de iluminación, desde más de 100,000 lux en días soleados, hasta menos de 0.1 lux en una noche con luna.

Cuando se requiera una percepción exacta de los colores, como trabajo de artes gráficas, además de necesitar un nivel elevado de iluminación, será importante que la fuente de luz tenga una buena calidad cromática, tanto en temperatura de color como en fidelidad cromática, siendo óptima la luz natural.

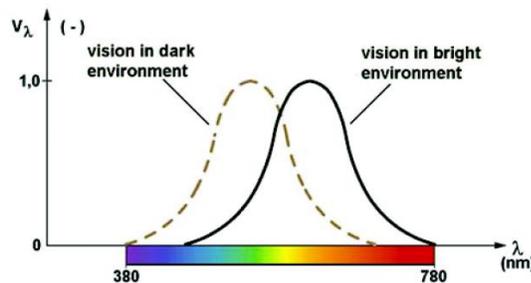


Figura 6.  
Sensibilidad cromática según la sensibilidad del ojo humano.

### 1.3.6. FUENTES LUMINOSAS

Una fuente luminosa cualquier objeto que produce luz. Dependiendo del origen de la producción de la luz estas se pueden clasificar en fuentes luminosas naturales como el Sol y en fuentes luminosas artificiales como las lámparas eléctricas. En el caso de las lámparas artificiales, estas a su vez se clasifican en función de la forma como producen la luz, es de este modo que suelen clasificarse en los tres grandes grupos que se presentan a continuación:

- **Lámpara incandescente.**

Es un dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico, en concreto de wolframio, hasta ponerlo al rojo blanco,

mediante el paso de corriente eléctrica. Con la tecnología existente, actualmente se consideran poco eficientes ya que el 85% de la electricidad que consume la transforma en calor y solo el 15% restante en luz. Este tipo de lámpara mejora su eficiencia cuando son del tipo halógenas.

- **Lámpara de descarga.**

El funcionamiento se basa en el fenómeno de la luminiscencia, por el cual se producen radiaciones luminosas con un escaso aumento de la temperatura, por lo que se las llama lámparas frías.

Las lámparas de descarga también se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o por la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros. La eficiencia de estas lámparas ronda el 80% respecto a una lámpara del tipo incandescente.

- **Lámpara LED.**

Una lámpara de LED, es una lámpara de estado sólido que usa varios diodos LED (Light-Emitting Diode, Diodos Emisores de Luz) como fuente luminosa. Debido a que la luz capaz de emitir un led no es muy intensa, para alcanzar la intensidad luminosa similar a las otras lámparas existentes como las incandescentes o las fluorescentes compactas las lámparas LED están compuestas por agrupaciones de ledes, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada. La eficiencia de estas lámparas ronda el 90%, respecto a una lámpara incandescente.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las diferentes tipos de fuentes luminosas:

Tipo de luz	Lm / W (Datasheet)	Lm / W (Usable)**	Tiempo de vida [hrs]	CRI
Incandescencia	15	12	500	90
Halógena	20	16	1.200	100
Halogenuros Metálicos	70-90	56-72	12.000	85
Fluorescente	60-90	39-60	8.000	80
Sodio Baja presión	120-150	84-105	16.000	25
Sodio Alta presión	95-130	76-96	28.000	45
Led	90-120	70-90	> 50.000	>75

**Tabla 1.**  
Tabla comparativa de las diferentes tecnologías de iluminación con la tecnología LED.

### 1.3.7. RANGO DE NIVELES DE ILUMINACION

Para facilitar su aplicación, se incluye una tabla de luminancia o niveles de iluminación (lux), con saltos aproximados de múltiplos de 3 y referencia a iluminaciones típicas de diferentes ambientes y actividades que se pueden desarrollar con comodidad.

Lux	Ambiente	Actividad cómoda
100000	Mediodía pleno sol	Umbral máximo, empieza el dolor por exceso de luz
30000	Día semicubierto	Circulación exterior diurna, paseo
10000	Día cubierto	Actividad excepcional (quirófanos)
3000	Zonas de transición	Actividad muy detallada, iluminación puntual
1000	Interior luminoso	Actividad detallada (cocina, aseo), iluminación zonal
300	Interior medio	Estancia, actividad media, iluminación general diurna
100	Interior bajo	Reposo, actividad baja, iluminación general nocturna
30	Calle iluminación alta	Circulación interior, calle de noche con mucho tráfico
10	Calle media	Calle con tráfico medio, densidad urbana media
3	Calle baja	Calle con tráfico bajo, densidad urbana baja
1	Calle mínima	Aparcamientos o muelles, sólo orientación
0.1	Luz de luna	Necesita periodo de adaptación para orientarse
0.01	Luz de estrellas	Umbral mínimo, oscuridad prácticamente absoluta

**Figura 7.**  
**Niveles de iluminación con saltos aproximados con múltiplos de 3.**

Considerando que la visión del espectador suele vagar por las diferentes superficies de un entorno, en un local con un nivel de iluminación medio convendrá que exista una diferencia reducida de nivel de iluminación entre las zonas en primer plano con nivel alto y las zonas de fondo con nivel bajo, siendo conveniente que dichas transiciones tengan una relación menor de 3 a 1.

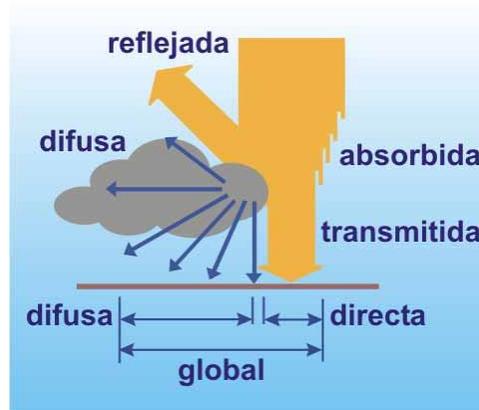
### 1.4. LA LUZ NATURAL

La luz natural es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, que proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias con una dirección variable de la mayor parte de la luz incidente.

Debemos partir del hecho de que la disponibilidad y las características de la luz natural dependen de la latitud, meteorología, época del año y del momento del día. Es sabido que la cantidad de luz natural recibida en la tierra varía con la situación, la proximidad a las costas o tierra adentro. El clima y la calidad del aire también afectan la intensidad y duración de la luz natural. De ahí que según los climas, la luz natural pueda ser predecible o muy predecible.

La luz natural consta de tres componentes:

- El haz directo procedente del Sol;
- La luz natural difundida en la atmosfera, que constituye la componente difusa del cielo;
- La luz procedente de reflexiones, en el suelo del propio interior y en objetos del entorno exterior.



**Figura 8.**  
**Componentes de la luz solar.**

Usar la luz natural como fuente de iluminación de tareas en el entorno de trabajo o incluso en el interior de edificios requiere de medidas especiales para manejar esta fuente cambiante dinámicamente. Generalmente las variaciones continuas en la disponibilidad de luz natural requieren dispositivos de apantallamiento adaptables y sistemas de alumbrado eléctrico para mantener las relaciones y variaciones de luminancia en el interior dentro de límites aceptables.

Por otra parte, el uso de sistemas de luz natural o de sistemas de control para el alumbrado artificial o eléctrico influirá sobre el equilibrio energético de un edificio. Los controles establecidos en respuesta a la luz natural proporcionan un medio para obtener un aprovechamiento óptimo de la luz natural, y así ahorrar energía.

La iluminación natural por lo tanto, debe cumplir ciertos aspectos como:

- Proporcionar la iluminación necesaria de acuerdo a la actividad o uso que se le esté dando al espacio interior.
- Adecuar los niveles e confort y calidad de iluminación al ojo humano permitiéndole acomodarse al ambiente de trabajo.
- Permitir un contacto más directo entre los individuos y el espacio exterior, evitando la iluminación artificial mientras nos sea posible.

- Reducir los consumos que tendríamos empleando técnicas de iluminación activas o artificiales, en contrapartida a estas técnicas pasivas.

De forma general suele darse el caso de que cerca de las ventanas los niveles de iluminación son más que suficientes, mientras que en las zonas más alejadas no llegan a los mínimos, luego debemos priorizar y tratar de conseguir llevar la luz natural a las zonas más profundas de los edificios.

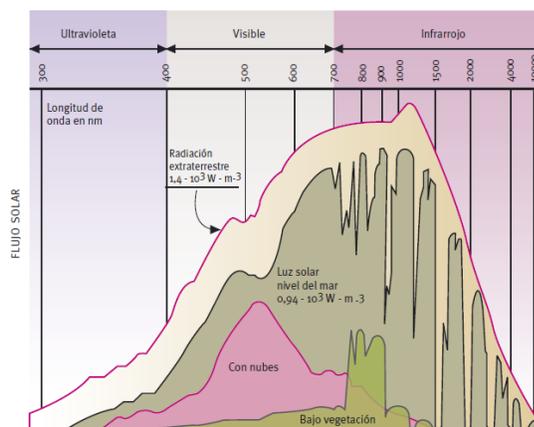
#### 1.4.1. LA ENERGIA RADIANTE DEL SOL

La mayor parte de la energía que llega a nuestro planeta procede del sol. La energía emitida por el sol es una radiación electromagnética que se comporta, a la vez, como una onda, con su frecuencia, y como una partícula, llamada fotón.

La energía que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, llamada constante solar y su valor es de  $1.367 \text{ W/m}^2$  o  $2 \text{ cal/min/cm}^2$ .

#### 1.4.2. LA ENERGIA QUE LLEGA A LA SUPERFICIE

En condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con rayos del sol cayendo casi perpendicularmente, como máximo las  $\frac{3}{4}$  partes de la energía que llega del exterior alcanza la superficie de la tierra. La superficie que llega al nivel del mar suele ser radiación infrarroja (49%), luz visible (42%) y radiación ultravioleta (9%). En un día nublado se absorbe un porcentaje mucho mayor de energía, especialmente en la zona del infrarrojo.



**Figura 9.**  
Distribución de la radiación solar en la alta atmosfera y a nivel del mar, en diferentes circunstancias.

### 1.4.3. CRITERIOS DE DISEÑO

Previo al diseño de la luz natural de nuestro espacio interior debemos tener en cuenta ciertos datos previos al proyecto, como son:

- Datos arquitectónicos del local. Dimensiones del local, disposición de las ventanas, claraboyas o elementos que proporcionen la iluminación natural.
- Datos de uso y utilización del local: este punto es clave para saber si nuestro local con nuestro nivel de iluminación es adecuado en función a la actividad que en se desarrolle o si por el contrario es necesario reforzar la iluminación con técnicas activas de iluminación artificial.
- Otros datos lumínicos precisos: en este apartado nos referimos a datos más concretos como por ejemplo las reflexiones de los distintos parámetros.

No podemos perder de vista que la iluminación debe crea una sensación y atmosfera adaptada tanto a las necesidad del local como de las personas que lo habiten.

Entre los criterios y estrategias básicas que el diseñador debe tener en cuenta para iluminar con luz natural podemos mencionar:

- La elección del lugar, orientación, la forma y dimensiones del edificio, son punto clave para aprovechar la aportación de luz natural en su totalidad.
- En cuanto a los criterios de orientación, en climas muy calurosos, la norte, es la mejor orientación en términos de luz natural. En cambio, en climas fríos la orientación sur es preferible a la norte, ya que recibe luz solar de forma bastante regular a lo largo del día del año.
- Otro aspecto relevante son las separaciones interiores. Las mamparas de cristal dividen espacios y permiten el paso de la luz, aunque si se quiere privacidad no son el método más idóneo. Se puede optar por colocar divisiones opacas hasta la altura de los ojos, y por encima de estas colocarlas de vidrio, para que por la parte superior de la división se permita el paso de la luz natural.
- Para mejorar la iluminación en edificios en los que la profundidad es excesiva y no se logra iluminar correctamente con ventanas, surgió la idea de la iluminación cenital, permitiéndonos introducir más luz en el interior mediante claraboyas, lucernarios, cúpulas, etc.

- Es importante también tener como criterio de diseño el aspecto de la distribución de luminancias, para que la misma sea adecuada al espacio en el que nos encontramos y a la actividad a realizar en él.
- Seleccionar adecuadamente los materiales utilizados para la iluminación, en especial el vidrio que mejor aprovechamiento de luz natural nos proporcione.
- Es importante seleccionar cuidadosamente los colores que se utilizaran, ya que estos definen el ambiente interior de los espacios que se quieren iluminar. Como recomendación se deben utilizar colores claros tanto en interiores como exteriores, ya que reflejan más la luz y permiten llevarla más lejos. Como norma general se especifican las siguientes reflectancias<sup>1</sup>:
  - Techo: 0.7
  - Paredes: 0.5
  - Suelo: 0.2

#### 1.4.4. CALCULO DE ILUMINACION NATURAL

El método de cálculo en iluminación natural es el propuesto por la CIE<sup>2</sup>, siendo el más utilizado en Europa, y denominándose *Método del Factor de Iluminación Natural*.

El proceso de cálculo de la iluminación natural lleva acarreados los conceptos expuestos a continuación.

El FIN (Factor de Iluminación Natural), se define como el cociente entre la iluminación en un punto interior dado y la iluminación que se tendría en ese mismo punto supuesto exterior en el mismo instante. El valor se expresa en tanto por ciento mediante la fórmula:

$$FIN = E_i / E_e \times 100\%$$

Dónde:

E<sub>i</sub> Iluminación en el interior  
E<sub>e</sub> Iluminación en el exterior

Para los cálculos manuales del FIN<sup>3</sup>, se hace el sumatorio de cada uno de los componentes del mismo:

<sup>1</sup> Recomendación extraída de la Guía Técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios, del IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de energía).

<sup>2</sup> International Commission on Illumination.

- Componente del cielo (CC).
- Componente reflejada (CRE).
- Componente reflejada interna (CRI).

Este factor de iluminación natural es solo valido en condiciones de cielo cubierto, cuando es independiente de efectos como la orientación o posición del sol.

Puesto que el cálculo manual del FIN se basa en condiciones de cielo cubierto, para poder profundizar en nuestro estudio realizaremos los cálculos con métodos de simulación virtual por ordenador. En estos métodos no tenemos que basarnos en condiciones de cielo cubierto, sino que ya se nos permite calcular con cielos claros, con luz solar directa, y fijar condiciones de orientación de las ventanas, permitiendo una mejor adecuación a la situación real de la que partimos.

#### **1.4.5. SISTEMAS DE APORTE DE LUZ SOLAR**

Nos centraremos en el desarrollo de distintas técnicas que nos permiten a día de hoy la obtención de la luz natural en espacios en los que por diseño no exista la entrada de esta de forma directa.

- **Tubos de luz.**

El sistema de tubos de luz está basado en unas claraboyas que se sitúan en las cubiertas de los edificios y mediante unos conductos altamente reflectantes transportan la luz solar al interior de los edificios.

Existen distintos modelos en función de la cúpula. Además, el sistema permite iluminar espacios de cualquier geometría con luz natural. Emplean una avanzada tecnología que transporta la máxima cantidad de luz solar desde el exterior hasta el interior de las estancias, permitiendo así un ahorro de energía.

---

<sup>3</sup> Extraído del libro DE LAS CASAS AYALA, José M.; GONZALEZ GONZALEZ Rafael; PUENTE GARCIA Raquel. Curso de iluminación integrada a la Arquitectura.



**Figura 10.**  
**Iluminación interior de espacios a través del uso de tubos de luz.**

Es un sistema que no necesita ningún tipo de mantenimiento y gracias a las características específicas de las claraboyas no transmiten ni calor ni ruidos, filtrando además los rayos UV. Cabe destacar que es un sistema que se adapta fácilmente a cualquier tipo de cubierta o tejado, permitiendo transportar luz a una distancia de hasta 12 metros.

- **Lucernarios.**

Los lucernarios con cristal de alta eficiencia permiten un control de la luz cenital, consiguiendo espacios correctamente iluminados, evitando un exceso de insolación en los meses de verano. Las cúpulas de los lucernarios son de doble cristal con cámara de aire, dando al lucernario las mejores prestaciones térmicas de aislamiento. El inconveniente de estos sistemas es que se tienen que instalar en plantas que tengan contacto directo con la cubierta, luego quedan derogados para aplicaciones en edificios multifamiliares salvo en el caso de las últimas plantas de los mismos.



**Figura 11.**  
**Iluminación interior de espacios a través del uso de Lucernarios.**

- **Patios de luz.**

Se presenta como un innovador sistema de reflectores que captan la luz del sol en la parte superior de los patios en edificios, y la dirige hacia el interior, aumentando de forma significativa la iluminación y convirtiendo estos patios en verdaderas cajas de luz dentro de los edificios.

Se consiguen hasta 7 veces el nivel original de iluminación en los patios, creando vistosas imágenes con la proyección de múltiples rayos sobre las paredes y el fondo que van variando a lo largo del día en función de la naturaleza solar.

Los reflectores se instalan en la parte superior del patio, desde donde captan y reflejan los rayos del sol hacia el interior. Se montan sobre estructuras fijas, no permitiendo el movimiento ni requiriendo ningún mantenimiento. Están realizados en aluminio y se aplica un tratamiento superficial en plata alcanzando un índice de reflexión del 98%.

Presentan distintos tamaños y su forma permite una perfecta integración en el edificio.



**Figura 12.**  
**Iluminación interior de espacios a través de Patios de luz.**

- **Heliostatos.**

Es un sistema formado por un gran espejo plano motorizado con un sistema de control electrónico que se mueve a lo largo del día siguiendo al sol para reflejar un haz de luz vertical. El sistema se completa con unos reflectores secundarios, que son espejos fijos que reciben los rayos del sol desde el heliostato y los reflejan nuevamente para conseguir el efecto deseado. Pueden diseñarse con formas y configuraciones especiales en función de las necesidades particulares de cada proyecto.

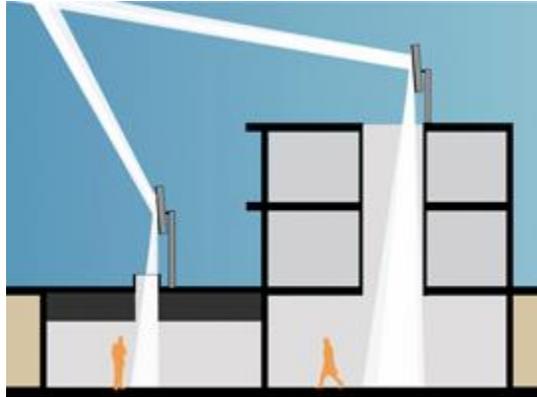


Figura 13.

Iluminación interior de espacios a través de Heliostatos.

#### 1.4.6. DESCRIPCION DEL SISTEMA SOLATUBE<sup>4</sup>

Es necesario conocer un poco del sistema “SOLATUBE”, debido a que es la tecnología de aporte de luz solar que se utilizara en este estudio, para la evaluación de ahorro de energía en el interior de edificios en los cuales la luz natural no alcanza a iluminar o es insuficiente.

Solatube es el sistema de Iluminación Natural más eficiente del mundo ya que con su tecnología de vanguardia brinda, de una manera eficiente y estética, lo que no han logrado ofrecer en muchos años los domos y tragaluces convencionales. El sistema ofrece los siguientes beneficios:

- Importantes ahorros de energía
- Luz natural sin daño a interiores ya que filtra los dañinos rayos UV
- Mínima transferencia de calor
- Hermeticidad garantizada
- Inmejorable calidad de luz todo el año
- No requiere mantenimiento
- Garantía de 10 años

---

<sup>4</sup> Ver anexo para información del producto SOLATUBE.



**Figura 14.**  
Partes del tubo de luz del sistema SOLATUBE para iluminación natural.

Este producto está compuesto de un sistema de tuberías que desde el techo de las edificaciones (hasta 12 m) y mediante la reflexión conduce la luz visible natural a los espacios interiores logrando aprovechar los rayos solares existentes hasta la puesta del sol.

Hay modelos con la cúpula redonda cuya instalación puede ser en cubiertas planas e inclinadas. Además, la geometría redonda permite una fácil orientación al sur de la celosía reflectante<sup>5</sup>.

En la actualidad encontramos distintas empresas instaladoras del sistema Solatube, ejemplo de algunas de ellas son:

- **Sola Tube, Innovation in Daylighting o Solatube International Inc.** Fueron los creadores del tragaluz tubular en los años ochenta, y fue en 1991 cuando se vendió el primer Solatube.
- **TECLUSOL S.L.** Fue fundada en 1999, y considerada como el distribuidor autorizado en España de la Compañía Solatube Internacional Inc.
- **Sunlux** , Inicio en el año 2000, dando a conocer Sistemas de Iluminación Natural y contando con la colaboración de la empresa británica Monodraught, Ltd, perteneciente al grupo Velux.

Pero para los fines de este estudio se ha tomado como referencia a la empresa TECLUSOL S.L, dado que es considerada como el distribuidor autorizado de la empresa

<sup>5</sup> Ver anexo para información del producto SOLATUBE.

que desarrollo el producto. Es así, como con base a los productos que encuentran en TECLUSOL S.L seleccionaremos los que mejor se adapten a nuestro estudio<sup>6</sup>.

#### ESPECIFICACIONES

	Solatube 25 cms.	Solatube 35 cms.	Solatube 53 cms.
Superficie de iluminación	9 m <sup>2</sup>	16 m <sup>2</sup>	36 m <sup>2</sup>
Longitud máxima recomendada	6 m	8 m	12 m

#### CUADRO COMPARATIVO

Fuente de luz	Wattios / Energía	Lúmenes	Eficacia lumen / watio	Naturalidad	Vida media
Incandescente	100	1200	12	45 - 50	2000 h.
Fluorescente	40	2300	57,5	69	18000 h.
Solatube 25	0	1100- 3750	No consumo	100	Indefinida
Solatube 35	0	2500- 6500	No consumo	100	Indefinida
Solatube 53	0	3700- 20000	No consumo	100	Indefinida

**1 Tecnología Raybender® 3000**

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

**2 LightTracker™**

- Reflector patentado en el interior del domo.
- Intercepta y redirecciona la luz solar de menor ángulo (Invierno).
- Aumenta la cantidad de luz que entra por el tubo.
- Prestaciones insuperables durante todo el año.

**3 Tubos Spectralight® Infinity**

- Los tubos más reflectantes del mundo.
- 99,7% de reflectividad espectral.
- Realza la belleza natural de los colores.
- Transfiere la luz solar hasta una distancia de 15 m.

**4 Diseño de la Difusión de la Luz**

- Los difusores garantizan la óptima distribución de luz por la habitación.
- Bloqueador de los rayos perjudiciales UVA y UVB.
- Varios difusores disponibles, para diferentes combinaciones decorativas.
- Certificado Energy Star (Alta eficiencia de Energía)

\* Santa Brachman Luz® s.a.s.

Figura 15.

Especificaciones de los tubos de luz SOLATUBE y cuadro comparativo con dos tecnologías de iluminación artificial y tecnología en empleada en el sistema SOLATUBE.

<sup>6</sup> <http://www.teclusol.com>

#### **1.4.7. RESUMEN**

En este capítulo se han presentado los conceptos básicos sobre iluminación que son necesarios para poder comprender nuestra propuesta de ahorro energético a través de artefactos de aporte de luz natural, sin embargo, es necesario considerar otras variables que son de suma importancia y que condicionan la calidad de la iluminación cuando utilizamos la luz del Sol como fuente de iluminación, como son:

- Emplazamiento de nuestro proyecto
- La orientación de nuestro edificio
- La forma y dimensiones de nuestro edificio
- El diseño de los ventanales

Estas variables se consideran con mayor detalle en el capítulo siguiente, en donde se ubica el edificio sobre el cual se focaliza la propuesta de ahorro energético.

Al final se presentan las diferentes opciones para la iluminación de interiores a través de artefactos de aporte de luz natural, inclinando nuestra solución al empleo de tubos de luz de la empresa SOLATUBE, ya que estos son direccionales y tienen un mejor rendimiento lumínico respecto a los otros sistemas que se presentaron, y porque además ofrece diferentes modelos según el área a iluminar.

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGIA DE LA SIMULACION

#### 2.1. INTRODUCCION

Cualquier proyecto de iluminación que haga uso de la luz natural como recurso energético para iluminar espacios en el interior de edificios, tiene por limitante las condiciones climáticas del lugar en donde se realizara dicho proyecto. Por lo tanto, es necesario establecer la ubicación precisa del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, dado que este edificio es la muestra que se seleccionó para realizar nuestro estudio.

El estudio a realizar consiste en comparar dos proyectos de iluminación que utilizan tecnologías diferentes, tales como son la LED y la de tubos de luz de la empresa SOLATUBE, con la finalidad de poder generar suficiente información técnica que permita comparar cada proyecto de iluminación con la situación actual de iluminación del local, para posteriormente evaluarlos financieramente, con el objetivo de poder tomar la decisión sobre una de ellas.

Dado que las variables a controlar en proyectos de iluminación que se proponen y en particular del sistema SOLATUBE es complejo, se hará uso del Software para la simulación de “Proyectos de Iluminación” DIALux 4.11.

## 2.2. LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

### 2.2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La Ciudad Universitaria, actual campus de la Universidad de El Salvador, está ubicada al norte de la ciudad de San Salvador, a 3.5 Km. del Centro de la ciudad, tomando como datos específicos las coordenadas 13°43'3.52" N y 89°12'13.35" O (ubicación exacta del edificio de Rectoría de la U.E.S.). Esta cuenta con una extensión de 57.89 manzanas (aproximadamente) que incluye Edificaciones de uso Académico y Administrativo, plazas, estacionamientos, circulaciones peatonales y áreas verdes que sirven como reserva ecológica.



### 2.2.2. ENTORNO URBANO

La Ciudad Universitaria se encuentra rodeada por suelos de uso totalmente Habitacional como el Centro Urbano Libertad, la Residencial San Carlos, Residencial La Flor, Residencial Universitaria Norte, y la colonia Layco; algunos componentes de carácter Institucional Educativo como las Oficinas Regionales del MINED, la escuela Francisco Morazán, el Instituto Albert Camus, el Instituto Técnico Ricaldone y el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom; y más recientemente algunos cambios a uso Comercial, motivados por los componentes educativos de la zona y la afluencia de población estudiantil.

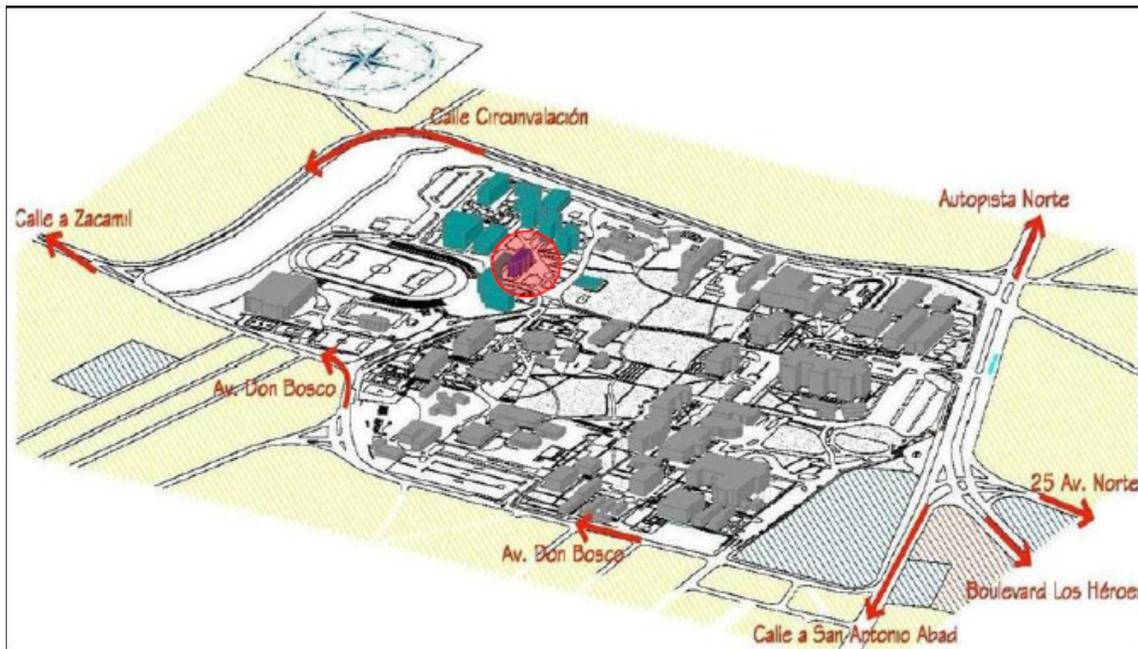


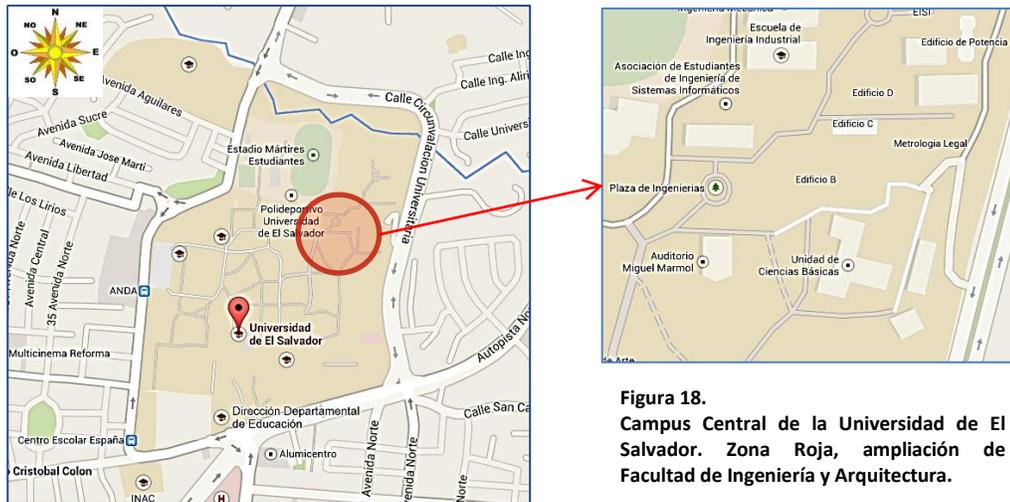
Figura 17.  
Campus Central de la Universidad de El Salvador y sus accesos.

Las principales vías de acceso a la Ciudad Universitaria son: la 25 av. Norte, el Boulevard de los Héroes, la Autopista Norte, la calle a San Antonio Abad y la calle a Zacamil.

## 2.3. LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### 2.3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La Facultad de Ingeniería y Arquitectura, está ubicada al noreste al interior del Campus Central de la Universidad de El Salvador, tomando como datos específicos las coordenadas  $13^{\circ}43'13.80''$  N y  $89^{\circ}12'5.27''$  O (ubicación exacta del edificio de la Administración Académica de la F.I.A.). La F.I.A. cuenta con un aproximado de 8 manzanas, que incluyen a los locales de las diferentes carreras edificios de aulas, plazas, circulaciones peatonales y vehiculares, estacionamientos y áreas verdes.



**Figura 18.**  
**Campus Central de la Universidad de El Salvador. Zona Roja, ampliación de Facultad de Ingeniería y Arquitectura.**

### 2.3.2. DATOS GENERALES

La Facultad de Ingeniería y Arquitectura (F.I.A.) es una de las nueve Facultades instaladas dentro de la Ciudad Universitaria, principal campus de la Universidad de El Salvador, y dentro del cual funcionan además diferentes Unidades, Secretarías e Institutos Universitarios que conforman las áreas Administrativas y de Atención Estudiantil.

Administrativamente la F.I.A. está conformada por 8 Carreras además de la Unidad de Ciencias Básicas, la Biblioteca, la Administración Académica, la Administración Financiera, El Decanato y las Organizaciones Estudiantiles correspondientes a cada carrera; además de apoyar a la Facultad de Ciencias Agronómicas con algunos locales de uso académico y administrativo. Las actividades de control, administración financiera y académica de toda la Facultad son desarrolladas en el Edificio Administrativo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

### 2.3.3. CONSUMO ENERGETICO

Algunos ingenieros electricistas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica han realizados varias mediciones a los edificios de la FIA, bajo estas actividades los ingenieros tienen

experiencia del comportamiento energético de estos edificios, los cuales se presentan en forma resumida en la figura. Estos resultados están basados en simulaciones hechas para obtener la línea base de consumo de cada uno de ellos.

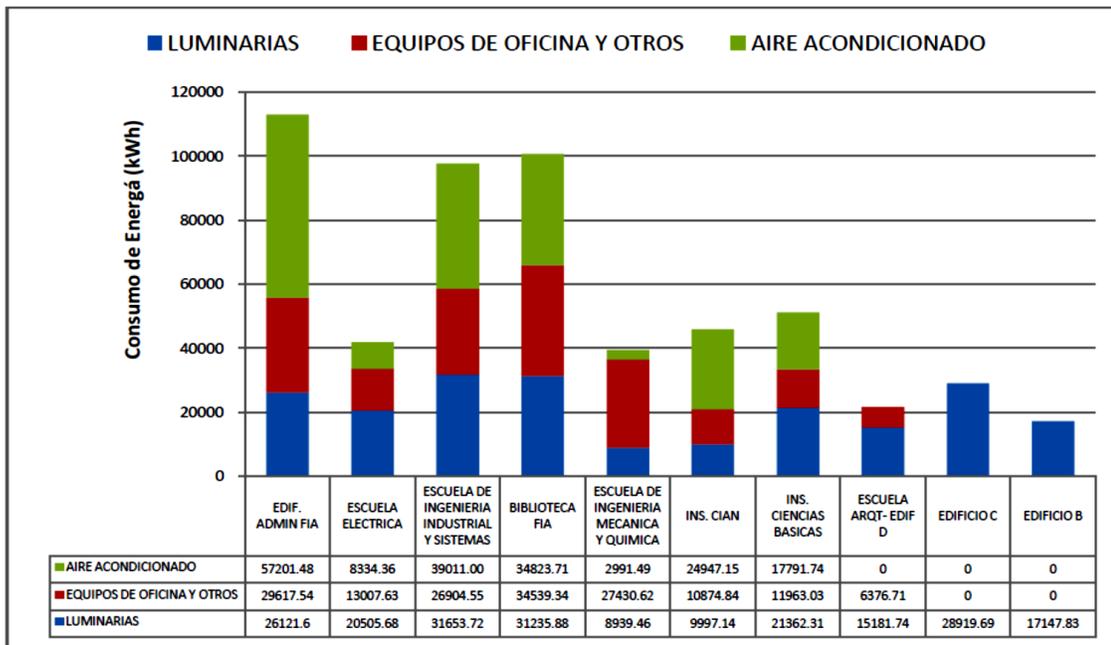


Figura 19.  
Consumo de energía anual simulado para los distintos edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES.

Como puede observarse en la figura anterior, en la gran mayoría de los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura hay un potencial ahorro en consumo de energía eléctrica en el rubro de Luminarias.

## 2.4. LA UNIDAD DE CIENCIAS BASICAS

### 2.4.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La Unidad de Ciencias Básicas es uno de los edificios que pertenecen a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se encuentra ubicada en sector poniente de la misma, específicamente en las coordenadas 13°43'11.03"N y 89°12'2.16"O.



**Figura 20.**  
Zona Roja, Unidad de Ciencias Básicas en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura – UES.

#### **2.4.2. DATOS GENERALES**

La Unidad de Ciencias Básicas es una de las unidades de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, que tiene fin de la enseñanza de la física y la matemática para las áreas de las ingenierías y la arquitectura. La infraestructura de la Unidad está constituida por cinco edificios que se detallan a continuación:

- a) El almacén de física
- b) 2 locales para la realización de laboratorios (F1 y F2)
- c) Un local de cubículos, para los docentes
- d) Las oficinas administrativas

Sin embargo, para efectos del estudio de ahorro energético a través de sistemas de aporte de luz solar, enfocaremos nuestro esfuerzo en el edificio de cubículos para los docentes ya que esta es la carga más representativa de la Unidad.

#### **2.4.3. CONSUMO ENERGETICO**

Como puede observarse en el figura 4, el consumo de energía eléctrica de la Unidad de Ciencias Básicas, en los rubros de Aire Acondicionado, Equipos de Oficinas y otros y Luminarias son como se presentan a continuación:

<b>RUBRO</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (kWh)</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA (%)</b>
Aire Acondicionado	17791.74	34.80
Equipos de oficinas y otros	11963.03	23.40
Luminarias	21362.31	41.79
<b>TOTAL:</b>	<b>51117.08</b>	<b>100.00</b>

Al realizar una inspección visual (Quick Scan) en los edificios de la Unidad de Ciencias Básicas se encontraron las siguientes deficiencias energéticas:

- Existe una mala distribución de lámparas en todos los sectores de la Unidad, ya que la distribución actual provoca encender lámparas innecesarias.
- No se consideró el aspecto de luz natural para el diseño de los edificios ni de la iluminación artificial.
- No existe flujo de aire en el espacio comprendido entre el cielo falso y el techo para el escape del calor.
- Existe un mal dimensionamiento de los aires acondicionados, en las diferentes áreas que tienen uno instalado.
- No se consideró la puesta de corta soles o ventilación natural para reducir la operación de los equipos de A.A. o quizás la reducción de algunos equipos.

## **2.5. EDIFICIO DE CUBICULOS PARA DOCENTES**

### **2.5.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA.**

El edificio de cubículos para docentes es uno de los edificios que pertenecen a la Unidad de Ciencias Básicas de la F.I.A., se encuentra ubicada en sector poniente de la misma, específicamente en las coordenadas 13°43'11.00"N y 89°12'2.17"O.

### 2.5.2. DATOS GENERALES

El edificio alberga alrededor de 33 docentes en las áreas de física y matemáticas, distribuidos al interior del edificio en 9 cubículos separados por divisiones que tienen una altura hasta de 1.6 m. El edificio tiene una longitud de 16 m, una anchura de 12 m y altura medida desde el suelo al cielo falso de 2.8 m, definiendo un área de 192 m<sup>2</sup> y un volumen de 537.6 m<sup>3</sup>, las paredes exteriores que se encuentran divididas por las columnas de soporte tienen instaladas dos cuerpos de ventanas cada una. La fachada del edificio está orientada al oeste, sin embargo, el Sol solo ilumina el sector este del edificio debido a las estructuras que son colindantes con él.



Figura 21a.

Mapa de los colindantes al edificio de cubículos de la Unidad de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES.

El edificio de cubículos docentes tiene al oeste al edificio administrativo de la Unidad (UCB), al norte el edificio del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) y al Sur al edificio del laboratorio de Química y al este la calle de acceso vehicular.

### 2.5.3. CONSUMO ENERGETICO

En el edificio de cubículos para docentes se observan tres tipos de circuitos básicos, tal y como se describen a continuación:

- **El circuito de luminarias.**

El diseño de la iluminación al interior del local es artificial y del tipo directa, usa tecnología fluorescente con tubos T8 que provee un flujo luminoso mantenido de 2800 lumen. La instalación eléctrica por luminarias hace uso de un total de 42 luminarias de 3x32W y balastro electrónico por lo que su nivel de iluminación de teórico es de 750 lux. La instalación establece un factor de demanda (F.D.) del 100%.

- **El circuito de aires acondicionado.**

La climatización del local se obtiene a partir de 4 unidades de aire acondicionado del tipo Mini-Split de 36000 BTU cada una y con factor de demanda (F.D.) del 100%.

- **Circuito por artefactos.**

La carga por artefactos es de 4 tomas polarizados dobles por cubículo y disponiendo de 9 cubículos nos ofrece un total de  $5 \times 9 = 45$  tomas dobles en total, sumando al circuito un total de potencia instalada de  $45 \times 2 \times 100 = 9.0$  kW con un factor de demanda (F.D.) de 40%.

Es de mencionar que el tiempo de funcionamiento del Edificio de Cubículos para Docentes en la Unidad durante el día es de 6:30 a.m. hasta las 6:30 p.m. haciendo un total de 12 horas de uso continuo de las instalaciones. En las tablas que se muestran a continuación muestra el gasto en energía del edificio en estudio en kWh/día y el costo

por kWh consumidos de acuerdo al pliego tarifario aprobado por SIGET<sup>7</sup> a partir del 1° de enero del 2014.

CIRCUITO	DESCRIPCION	CANTIDAD	CARGA TEORICA INSTALADA (kW)	F.D. (%)	HORAS DE USO (HR)	ENERGIA (kWh/día)	COSTO (USD/día)	COSTO (USD/año) <sup>8</sup>	
Luces	Luminarias 3x32W T8 y balastro electrónico.	42	4.04	100	12	48.48	\$ 9.06	\$ 1993.2	
Climatización	Aires acondicionados Mini-Split 36000 BTU/hr	4	16.00	100	10	160.00	\$ 29.88	\$ 6573.6	
Artefactos	Tomas dobles polarizados	45	9.00	40	4	14.40	\$ 2.68	\$ 589.6	
							<b>222.88</b>	<b>\$ 41.62</b>	<b>\$ 9156.4</b>

**Tabla 2.**  
Carga teórica instalada en el edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas (UCB).

Bloque 3: Consumos mayores o iguales a 200 kWh/mes									
	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.864140	1.027905	0.934739	0.918801	1.085106	0.803080	0.801113	0.849722
Cargo de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.186804	0.181742	0.185613	0.188267	0.187167	0.202421	0.174960	0.200075
Cargo de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.048553	0.061027	0.066456	0.068144	0.068579	0.053883	0.026868	0.041692
Uso General									
	CAESS	DELSUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.864140	1.027905	0.934739	0.918801	1.085106	0.803080	0.801113	0.849722
Cargo de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.188613	0.183133	0.186370	0.191368	0.189139	0.201828	0.173364	0.201056
Cargo de Distribución:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.028421	0.040573	0.038776	0.058245	0.059388	0.045149	0.021901	0.032983

**Tablas 3 y 4.**  
Pliego tarifario vigente por consumo de energía eléctrica (kWh) a partir del 1° de enero del 2014, según la SIGET.

## 2.6. EL SOFTWARE PARA EL CALCULO DE ILUMINACION

Son muchas las opciones que ofrece el mercado informático para el cálculo y diseño de iluminación en edificios, algunas de las distintas opciones que encontramos para el diseño interior de iluminación hacen referencia a programas de marcas comerciales

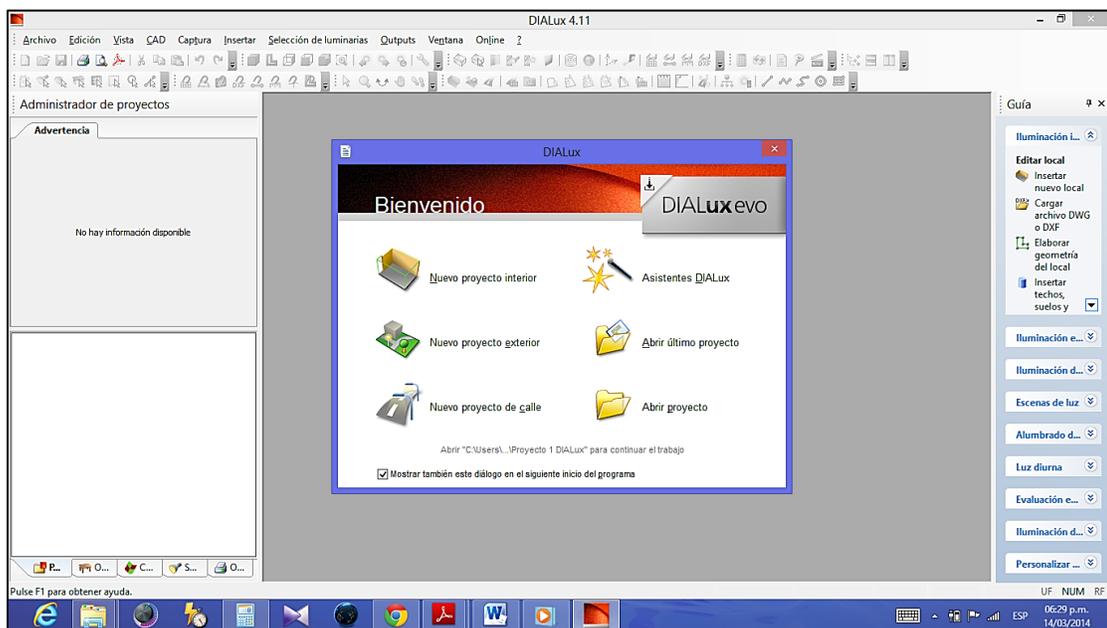
<sup>7</sup> SIGET, siglas que hacen referencia a la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones de El Salvador. Sitio Web: <http://www.siget.gob.sv>

<sup>8</sup> Estos valores están calculados con base a 11 meses, debido a que la UES solo trabaja 11 meses al año. Y asumiendo que el mes es de 20 días.

puntuales. Este tipo de programas suelen encontrarse acotados en cuanto al uso de las luminarias de la propia compañía.

Sin embargo, paralelo a esto encontramos otro tipo de programas no relacionados con un fabricante de luminarias en concreto, sino de libre disposición para incluir en ellos las luminarias de la marca que el propio usuario desee. Dentro de ese grupo encontramos los software DIALux y Relux.

Para este estudio, el criterio de selección del software de simulación fue que este no estuviera ligado a un fabricante en concreto y que sea gratuito. Por lo tanto, para los proyectos de iluminación que diseñaran en este estudio se utilizara el Software de DIALux<sup>9</sup> en su versión 4.11.



**Figura 21b.**  
Entorno de desarrollo del Software para el diseño de proyectos de iluminación DIALux 4.11.

El programa DIALux se ha ganado en Europa un muy buen nombre como herramienta de planificación de alumbrado. Es un software gratuito para la creación de proyectos de iluminación profesional que además está abierto a las luminarias de todos los fabricantes.

<sup>9</sup> <http://www.dial.de/>

Permite crear tanto escenarios de luz diurna como artificial. Además DIALux determina en paralelo el consumo energético de la solución en iluminación, apoyándose así en el cumplimiento de las directrices vigentes a nivel nacional e internacional. También, DIALux permite una aplicabilidad tanto en interiores como para exteriores, así como su evaluación energética, punto que lo diferencia de muchos otros programas.

## **2.7. CRITERIOS DE MODELIZACION**

Para poder establecer una línea base en lo que respecta al estado de la iluminación actual del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas, se realizó la simulación con el Software DIALux 4.11, del edificio utilizando luminarias que obedecen a la tecnología que se encuentra en uso actualmente. Tomando en cuenta que el diseño de la iluminación al interior del edificio bajo estudio obedece a una de tipo general directa.

Los valores de reflexión que se utilizaron fueron los valores por defecto que da el programa de simulación DIALux 4.11, y que coinciden con los valores promedios de reflexión de materiales sugeridos por la norma española UN- EN\_12464-1\_2003, estos son:

- ✓ Techo=70%;
- ✓ Pared=50%;
- ✓ Suelo=20%.

### **• SITUACION ACTUAL DEL EDIFICIO**

Para la simulación de la situación actual del edificio, que utiliza 42 luminarias de tipo fluorescente 3x32W, tubo T8, con pantalla difusora y tipo de montaje para empotrar en cielo falso, se utilizó una de HAVELLS SYLVANIA S.A. UL505-EO-48-3 (2x4) DIF ACRILICO LECHOSO DE EMPOTRAR / ILUMINACION GENERAL, con flujo luminoso total de 8700 lumen, lo que equivale a 2900 lumen por cada lámpara y un costo unitario de \$ 50.00.

- **ILUMINACION CON TECNOLOGIA LED**

Para la propuesta de iluminación con tecnología LED, se utilizó la luminaria LED de la empresa General Electric (GE) de 3x18W con difusor, dimensiones estándar de 600x1200 mm y una potencia luminosa total de 4200 lumen y costo por luminaria de \$ 210.00.

El modelo utilizado para esta luminaria por el simulador DIALux es el 35xGELIGHTING 69612 et247C3ADWHTe.

- **ILUMINACION CON TUBOS DE LUZ SOLATUBE**

Para la propuesta de iluminación con la tecnología de tubos de luz, se utilizó el modelo SOLATUBE S750DS-C-DA-L2-CLR40, con tecnología Raybender 3000, domo interior, tubos spectralight infinity y difusor Optiview, con una dimensión de 21" (53.34 cm), para cielo cerrado y un costo por unidad de \$ 800.00. Para la simulación de este tipo de sistema de aporte de luz solar se utilizó los archivos .IES del fabricante SOLATUBE y se empleó para los cálculos el valor medio de iluminación para un día claro. El criterio de nivel de iluminación para una oficina según la norma española UNE-EN\_12464-1\_2003, es de 500 lux promedio, estableciendo el rango mínimo de 300 lux y el máximo de 750 luxes.

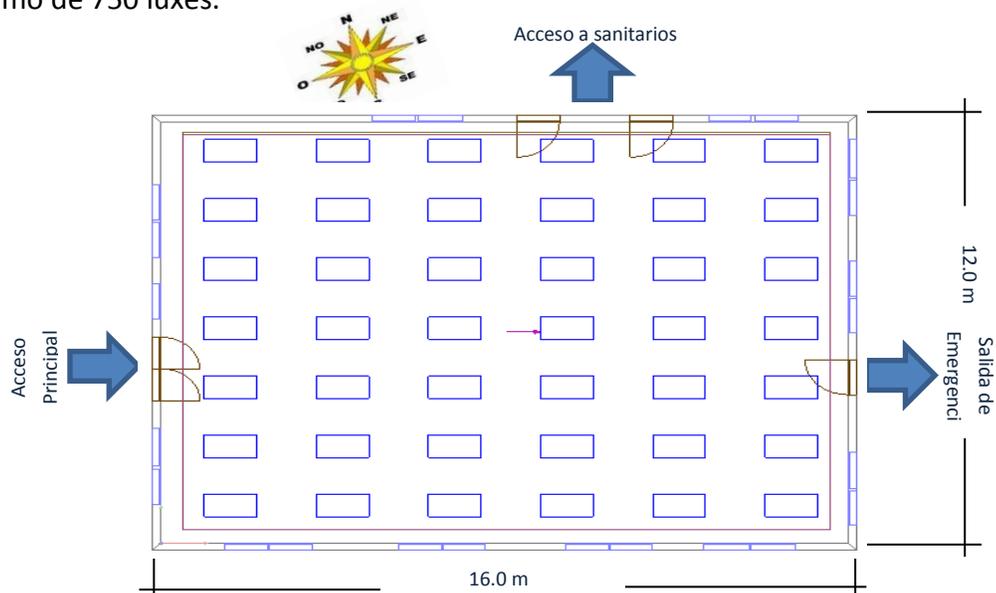


Figura 22.

Vista en planta del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas y su distribución de 42 luminarias 3x32W T8 para alumbrado general.

## **2.8. RESUMEN**

En este capítulo se proporciona la descripción básica del edificio de Cubículo Docente de la Unidad de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de EL Salvador, que se tomó como muestra para la evaluación de la propuesta de ahorro energético. Del edificio se especifica la ubicación geográfica, las dimensiones del edificio, materiales y dimensiones de sus entradas de luz a través de un plano, así como también su orientación, ya que estos datos serán posteriormente insumos para el software para simulación de “Proyectos de iluminación” DIALux 4.11. También, se presenta un análisis del consumo energético a través del uso de un “Quick Scan”, el cual es un instrumento que permite analizar rápidamente la situación energética de los locales a partir del tipo de las cargas conectadas, su potencia y tiempo de utilización, estableciendo con esto una línea de referencia de la situación actual de consumo del edificio que se ha tomado como muestra.

## **CAPITULO III**

### **3. DISCUSION DE RESULTADOS**

#### **3.1. INTRODUCCION**

En ese capítulo nos centraremos en el estudio de la de la iluminación al interior del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador que fue tomado como muestra, con los resultados obtenidos con el programa de simulación DIALux 4.11 se comprueba si la iluminación al interior del local son adecuados para el uso al que se le destina.

Para el caso, el edificio bajo estudio alberga en su interior 8 cubículos que son básicamente espacio de oficinas para el personal, por lo que según la norma española UNE-EN\_12464-1\_2003, la iluminación adecuada es un promedio de 500 lux.

#### **3.2. APORTE LUMINICO**

Para el análisis de la iluminación al interior del edificio bajo estudio, se consideraron tres escenarios:

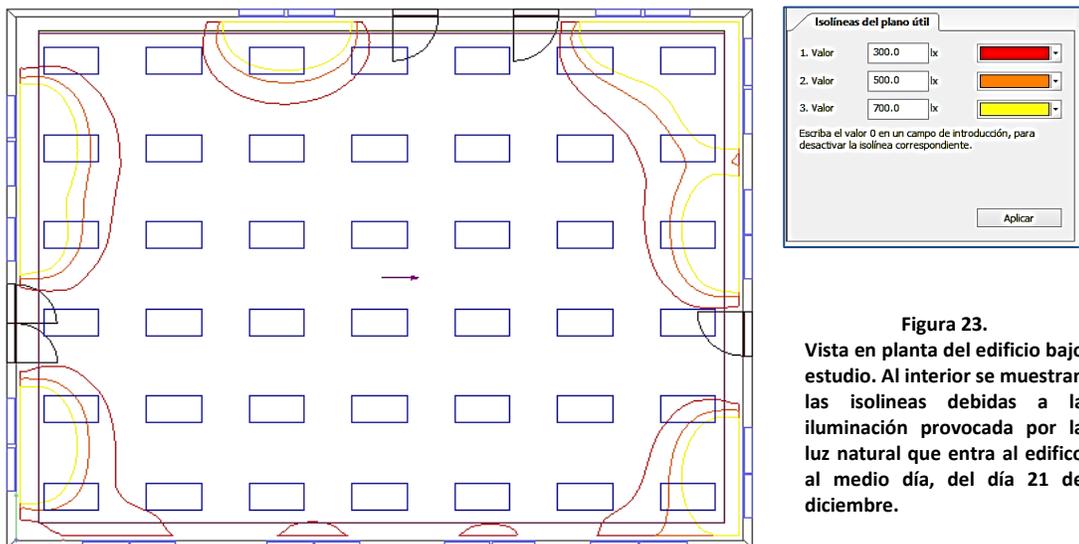
- a) La situación actual en iluminación del local.
- b) Iluminación del local debido a luminarias con tecnología LED.
- c) Iluminación del local debido a los tubos de luz de la empresa SOLATUBE.

Además, se estableció una línea base en lo que respecta a la contribución de la iluminación natural, artificial y total al simular con el programa DIALux 4.11, a la situación actual del edificio de cubículos para Docentes de la Unidad de Ciencias Básicas.

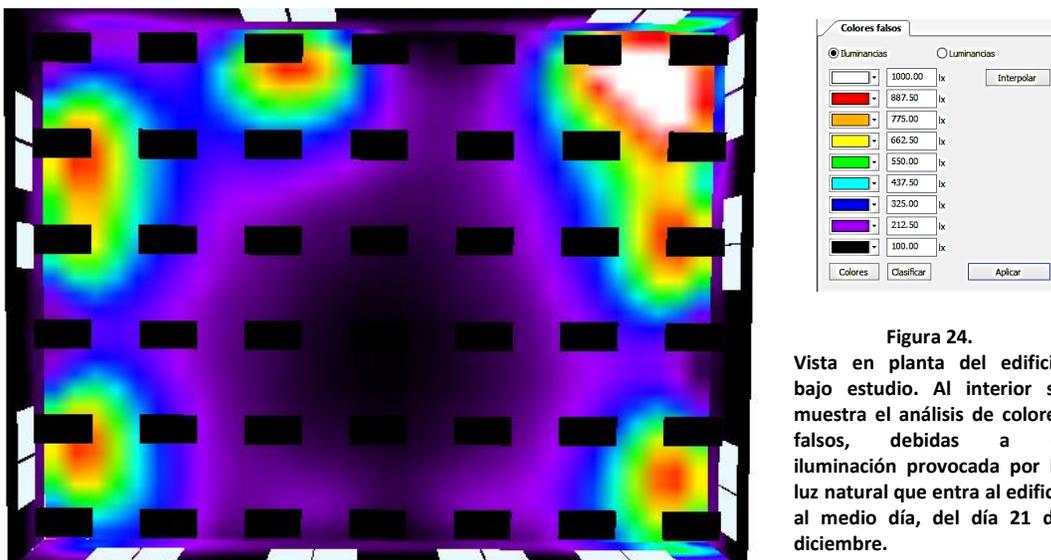
### 3.2.1. LA SITUACION ACTUAL EN LA ILUMINACION DEL LOCAL

#### a) Iluminación Natural.

Llamamos sistema de iluminación natural al conjunto de componentes que en un edificio o construcción se utilizan para iluminar con luz natural. La cantidad, calidad y distribución de la luz interior de los edificios o construcciones depende del funcionamiento conjunto de los sistemas de iluminación, de la ubicación de las aberturas y de la superficie de las envolventes. A continuación puede observarse los resultados de la simulación con luz natural en nuestro edificio de interés, aportada por el medio día solar del 21 de diciembre en un día claro.



**Figura 23.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestran las isolines debidas a la iluminación provocada por la luz natural que entra al edificio al medio día, del día 21 de diciembre.

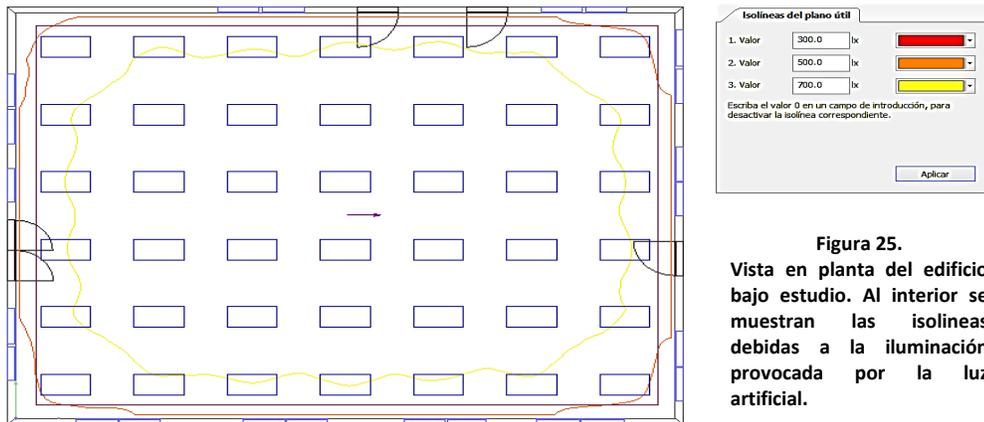


**Figura 24.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestra el análisis de colores falsos, debidas a la iluminación provocada por la luz natural que entra al edificio al medio día, del día 21 de diciembre.

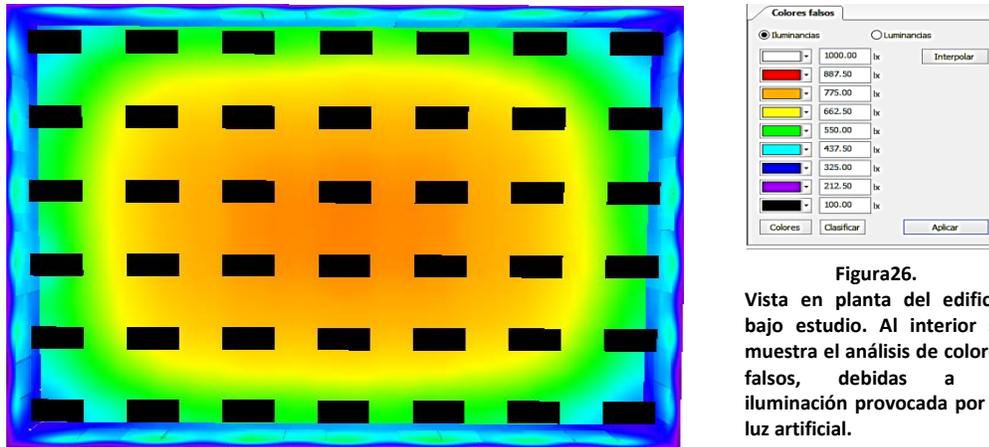
En la simulación puede observarse que la iluminación debida a la luz natural en el medio día no llega a todos los lugares al interior del edificio.

- **Iluminación artificial.**

A continuación se muestra el resultado de la simulación con DIALux 4.11 de la contribución de la iluminación artificial actual en el interior del edificio bajo estudio.



**Figura 25.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestran las isolneas debidas a la iluminación provocada por la luz artificial.



**Figura 26.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestra el análisis de colores falsos, debidas a la iluminación provocada por la luz artificial.

**Local 1 - Iluminacion Natural / Escena de luz 1 / Resultados luminotécnicos**

Flujo luminoso total: 206589 lm  
Potencia total: 4032.0 W  
Factor mantenimiento: 0.70  
Zona marginal: 0.100 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	614	86	700	/	/
Suelo	544	97	641	20	41
Techo	0.00	106	106	70	24
Pared 1	254	100	353	50	56
Pared 2	239	101	340	50	54
Pared 3	254	101	356	50	57
Pared 4	235	104	339	50	54

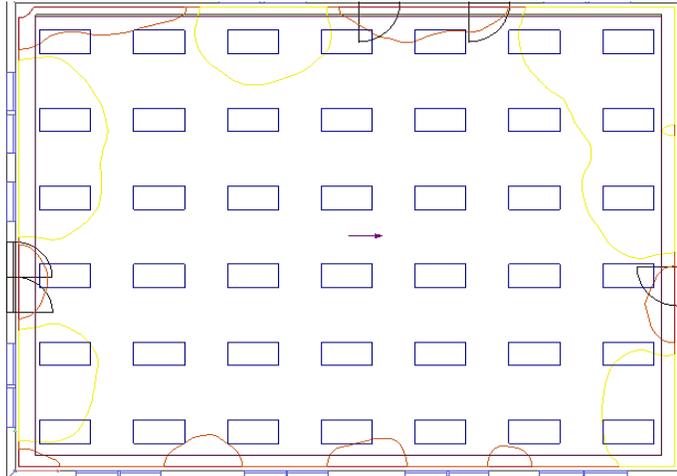
Simetrías en el plano útil  
 $E_{min} / E_{m'}: 0.488 (1:2)$   
 $E_{min} / E_{max}: 0.410 (1:2)$

Valor de eficiencia energética:  $21.00 \text{ W/m}^2 = 3.00 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $192.00 \text{ m}^2$ )

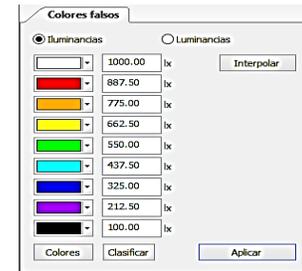
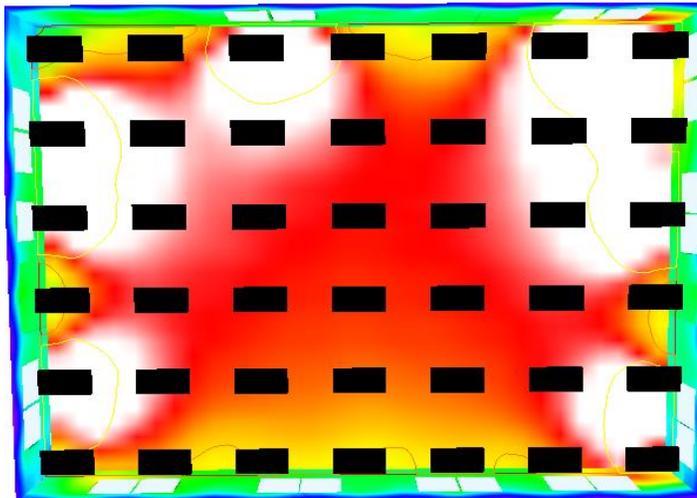
**Figura 27.**  
Resultados luminotécnicos por iluminación artificial, del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas.

- **Iluminación total.**

A continuación se muestra el resultado de la simulación con DIALux 4.11 de la contribución de la iluminación natural más la contribución de la luz artificial actual en el interior del edificio bajo estudio.



**Figura 28.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestran las isoclinas debidas a la iluminación provocada por la luz natural y artificial que entra al edificio al medio día, del día 21 de diciembre.



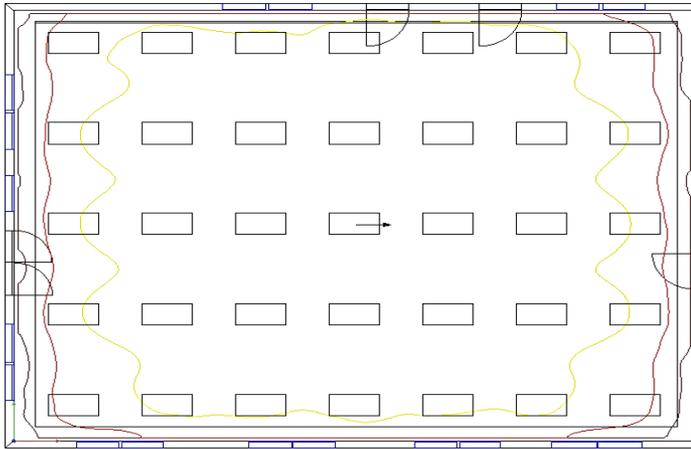
**Figura 29.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestra el análisis de colores falsos, debidas a la iluminación provocada por la luz natural y artificial que entra al edificio al medio día, del día 21 de diciembre.

En la simulación puede observarse que la iluminación debida a las contribuciones de luz natural y la artificial, hacen que el nivel de iluminación al interior del edificio sea muy encima del nivel recomendado<sup>10</sup> de 500 luxes.

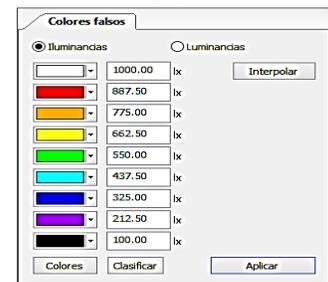
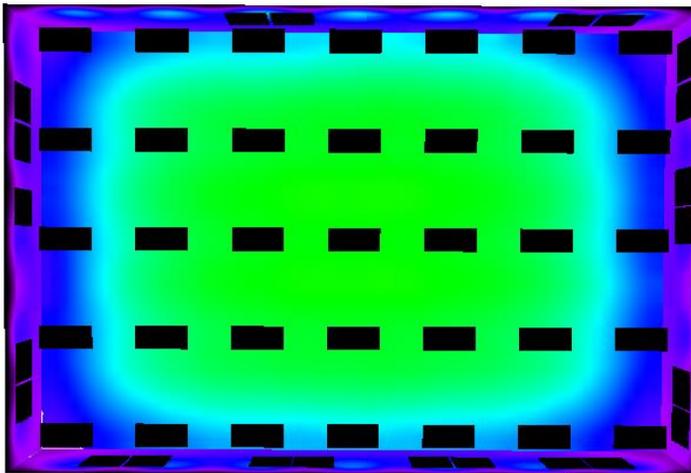
<sup>10</sup> Según norma española UNE-EN\_12464-1\_2003.

### 3.2.2. ILUMINACION DEL LOCAL CON LUMINARIAS LED

A continuación se muestran los resultados luminotécnicos debidos al emplazamiento de luminarias tipo LED, graficados en la vista en planta del edificio y tabulados, tal y como el programa DIALux 4.11 lo proporciona.



**Figura 30.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestran las isolineas debidas a la iluminación provocada por las luminarias LED.



**Figura 31.**  
Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestra el análisis de colores falsos, debidas a la iluminación provocada por la luz artificial, utilizando luminarias LED.

**Local 1 - Iluminacion LED\_2 / Escena de luz 1 / Resultados luminotécnicos**

Flujo luminoso total: 661482 lm  
Potencia total: 1890.0 W  
Factor mantenimiento: 0.70  
Zona marginal: 0.100 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	442	64	506	/	/
Suelo	394	71	465	20	30
Techo	0.50	81	82	70	18
Pared 1	180	73	253	50	40
Pared 2	139	74	213	50	34
Pared 3	192	75	267	50	43
Pared 4	137	76	213	50	34

Simetrías en el plano útil  
 $E_{min} / E_m$ : 0.476 (1:2)  
 $E_{min} / E_{max}$ : 0.405 (1:2)

UGR  
 Pared izq 18  
 Pared inferior 18  
 (CIE, SHR = 0.25.)

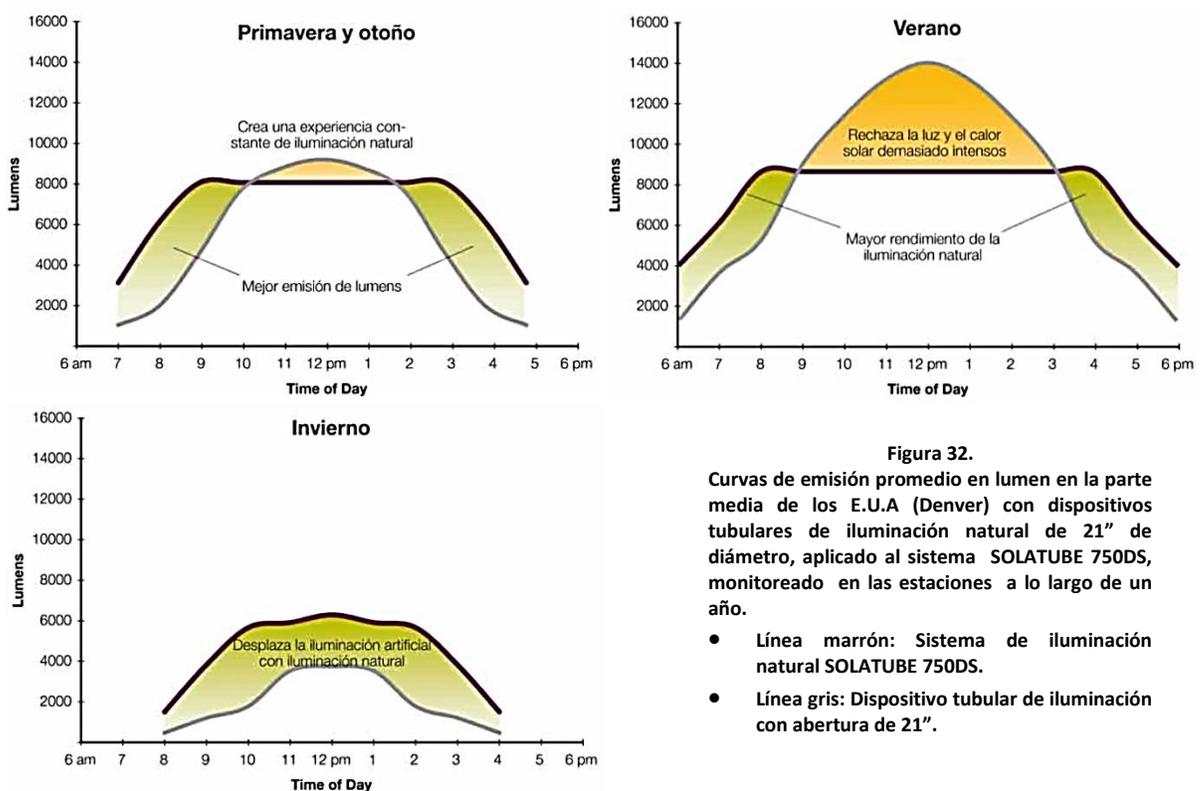
Longi- Tran al eje de luminaria  
 18 19  
 18 18

Valor de eficiencia energética: 9.84 W/m² = 1.94 W/m²/100 lx (Base: 192.00 m²)

**Tabla 5.**  
Resultados luminotécnicos por iluminación artificial, del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas. Utilizando luminarias LED.

### 3.2.3. ILUMINACION DEL LOCAL CON EL SISTEMA SOLATUBE

La razón por la cual se optó por el sistema SOLATUBE S750DS-C-DA-L2-CLR40, se justifica por su curva de rendimiento luminoso, ya que este sistema en particular se diseñó para proporcionar el rendimiento mayor y más constante disponible durante todo el día y todo el año.



**Figura 32.**  
Curvas de emisión promedio en lumen en la parte media de los E.U.A (Denver) con dispositivos tubulares de iluminación natural de 21" de diámetro, aplicado al sistema SOLATUBE 750DS, monitoreado en las estaciones a lo largo de un año.

- Línea marrón: Sistema de iluminación natural SOLATUBE 750DS.
- Línea gris: Dispositivo tubular de iluminación con abertura de 21".

Es decir, que los sistemas de iluminación natural SOLATUBE son mejores para aprovechar la luz solar temprano por la mañana y tarde por la tarde, lo cual le permite prolongar bastante su día. En el caso de nuestro país, el rendimiento luminoso que mejor se le acerca es del de verano y el de primavera-otoño.

- Simulación con DIALux 4.11, del sistema SOLATUBE 750DS, con un R = 8000 lumen (Estación de verano, de 8:00 a.m. – 4:00 p.m.).

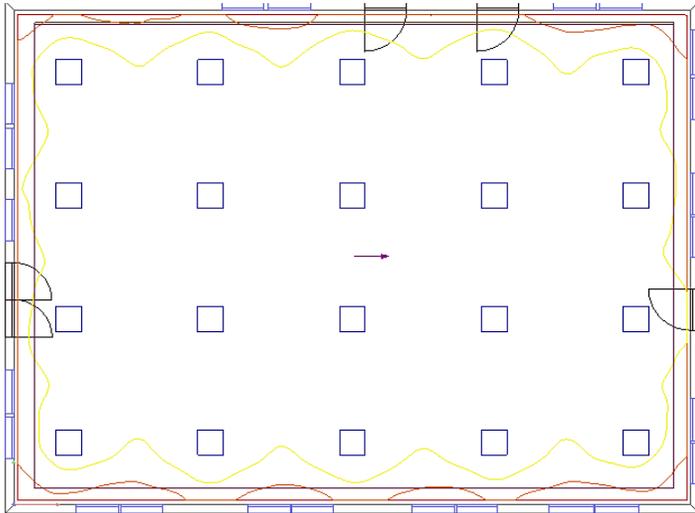


Figura 33. Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestran las isocurvas debidas a la iluminación provocada por sistema SOLATUBE, con un R = 8000 lumen.

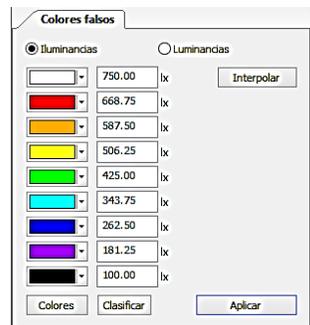
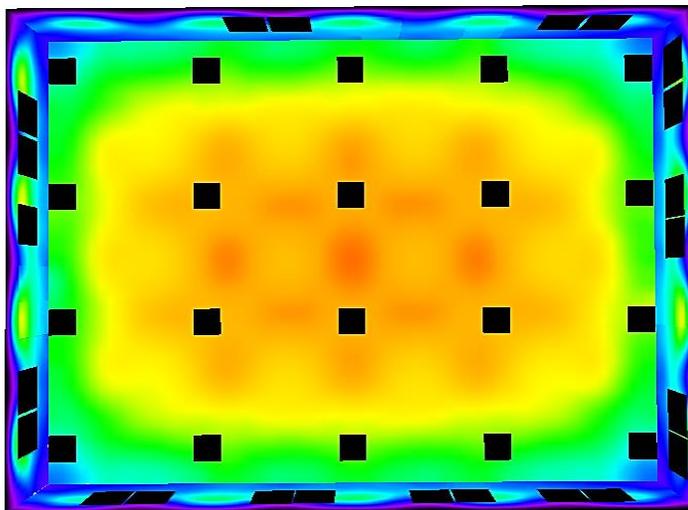


Figura 34. Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestra el análisis de colores falsos, debidas a la iluminación provocada por el sistema SOLATUBE. Con un R = 8000 lumen.

**Local 1 - Iluminación SOLATUBE / Escena de luz 3 / Resultados luminotécnicos**

Flujo luminoso total: 159887 lm  
 Potencia total: 0.0 W  
 Factor mantenimiento: 0.70  
 Zona marginal: 0.100 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	476	77	553	/	/
Suelo	419	85	504	20	32
Techo	0.00	100	100	70	22
Pared 1	179	85	264	50	42
Pared 2	205	86	291	50	46
Pared 3	178	87	265	50	42
Pared 4	204	88	292	50	47

Simetrías en el plano útil  
 $E_{min} / E_m$ : 0.545 (1.2)  
 $E_{min} / E_{max}$ : 0.446 (1.2)

UGR: Pared izq  
 Longi- 23  
 Tran 24  
 al eje de luminaria

(CIE, SHR = 0.25.)

Valor de eficiencia energética: 0.00 W/m² = 0.00 W/m²/ lx (Base: 192.00 m²)

Tabla 6. Resultados luminotécnicos por iluminación con luz natural, del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas. Utilizando el sistema SOLATUBE. R = 8000 lm.

- Simulación con DIALux 4.11, del sistema SOLATUBE 750DS, con un R = 6000 lumen (Estación de primavera-otoño, de 8:00 a.m. a 4:00 p.m.).

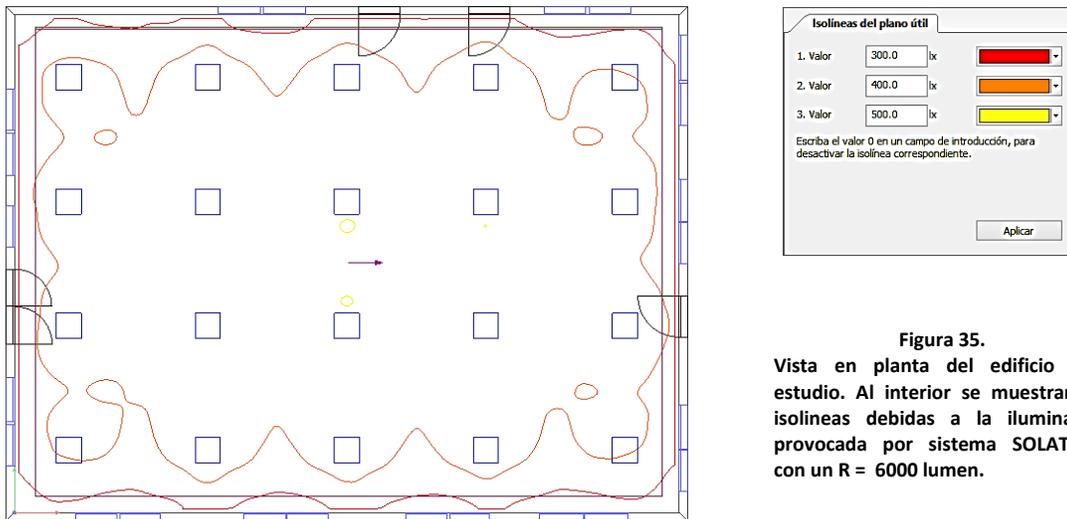


Figura 35. Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestran las isolneas debidas a la iluminación provocada por sistema SOLATUBE, con un R = 6000 lumen.

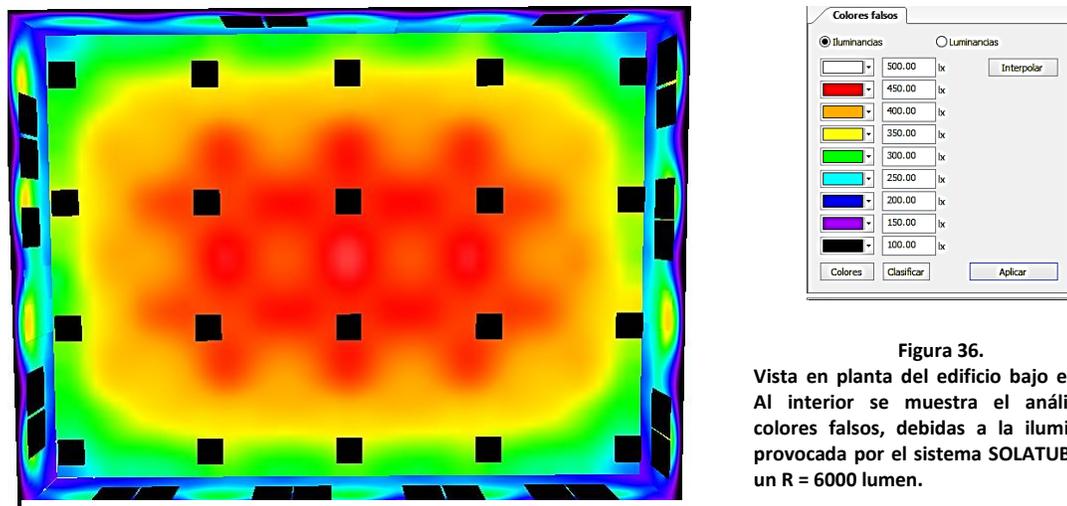


Figura 36. Vista en planta del edificio bajo estudio. Al interior se muestra el análisis de colores falsos, debidas a la iluminación provocada por el sistema SOLATUBE. Con un R = 6000 lumen.

**Local 1 - Iluminación SOLATUBE\_6K / Escena de luz 3 / Resultados luminotécnicos**

Flujo luminoso total: 119915 lm  
 Potencia total: 0.0 W  
 Factor mantenimiento: 0.70  
 Zona marginal: 0.100 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	357	58	414	/	/
Suelo	314	64	378	20	24
Techo	0.00	75	75	70	17
Pared 1	134	64	198	50	32
Pared 2	154	64	219	50	35
Pared 3	133	65	199	50	32
Pared 4	153	66	219	50	35

Simetrías en el plano útil  
 $E_{min} / E_{max}$ : 0.546 (1:2)  
 $E_{min} / E_{max}$ : 0.446 (1:2)

UGR  
 Pared izq 22  
 Pared inferior 22 (CIE, SHR = 0.25.)

Longi- 22  
 Tran 23

al eje de luminaria

Valor de eficiencia energética: 0.00 W/m² = 0.00 W/m²/ lx (Base: 192.00 m²)

Tabla 7. Resultados luminotécnicos por iluminación con luz natural, del edificio de cubículos para docentes de la Unidad de Ciencias Básicas. Utilizando el sistema SOLATUBE. R = 6000 lm.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los proyectos de iluminación presentados anteriormente, en donde puede observarse que la iluminación LED, proporciona el nivel de iluminación promedio requerido de 500 lux y cumple con el nivel de deslumbramiento (UGR) siendo igual a 18, tal y como lo sugiere la norma española UNE-EN\_12464-1\_2003, y también ahorra energía en un 53.1% con respecto a la iluminación actual.

Sin embargo, el sistema SOLATUBE cumple también con el nivel de iluminación promedio de 500 lux, pero el valor de deslumbramiento es ligeramente mayor al valor normado de 19, tal y como lo sugiere la norma española UN- EN\_12464-1\_2003, y el ahorro de energía eléctrica es de un 83.3% debido a que solo se consideran 10 horas de luz solar.

Proyecto	Potencia (W)	$E_m$ (lx)	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$	UGR	$W/m^2$	Tiempo (h)	kWh (día)	kWh (año)	COSTO USD\$/año	AHORRO USD\$/año
Actual	4032.0	700	0.488	0.410	-	21.00	12.0	48.38	11612.16	2,125.00	0.0
LED	1890.0	506	0.476	0.405	18	9.84	12.0	22.68	5443.2	996.10	1129.00
SOLATUBE	0.0	553	0.545	0.446	23	0.00	9.0	0.0	0.0	0.0	1593.76

**Tabla 8.**  
Resumen de los resultados energéticos y luminotécnicos de los proyectos de iluminación con luminarias LED y el sistema SOLATUBE.

### 3.3. ANALISIS ECONOMICO

En el análisis económico que se desarrolla en este capítulo, se utilizan dos métodos de evaluación de proyectos como son: el valor actual neto (V.A.N.) y la tasa interna de retorno (T.I.R.), para proveer información necesaria para decidir la conveniencia, o no, de efectuar una inversión en una tecnología eficiente, como es el caso de la iluminación con luminarias LED y el sistema SOLATUBE 750DS. Para lograr evaluar estos dos métodos de evaluación de proyectos se utilizó el programa Excel de la empresa Microsoft.

### 3.3.1. Método del Valor Actual Neto (V.A.N.)

Para el cálculo del VAN en ambos proyectos de iluminación, se consideraran los flujos de caja de las inversiones como negativos y los correspondientes ahorros como positivos. El criterio de aceptación del proyecto será aquella alternativa que resulte con un VAN positivo y con un mayor valor. Se utilizara para efecto de comparación una tasa de retorno del 5% y 10% y un periodo de evaluación del proyecto de 10 años.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación del proyecto con luminarias LED y con tubos de luz SOLATUBE 750DS, para una tasa de interés del 5%, una subvención igual a cero (0.0) y un periodo de evaluación de 10 años extrapolado a 20 años para poder determinar el tiempo de recuperación de la inversión (para el caso de los tubos de luz).

VAN - LED - USD\$ 210.00 y 35 U					VAN - SOLATUBE 750DS - \$ 800.00 y 20 U				
Tasa =	5%	Subvencion	0%		Tasa =	5%	Subvencion	0%	
Periodo	Flujo de caja		Valor actual	Saldo	Periodo	Flujo de caja		Valor actual	Saldo
n	Fn	(1+i)^-n	USD\$	USD\$	n	Fn	(1+i)^-n	USD\$	USD\$
0	\$ (7,350.00)	1.00000	\$ (7,350.00)	\$ (7,350.00)	0	\$ (16,000.00)	1.00000	\$ (16,000.00)	\$ (16,000.00)
1	\$ 1,129.00	0.95238	\$ 1,075.24	\$ (6,274.76)	1	\$ 1,593.76	0.95238	\$ 1,517.87	\$ (14,482.13)
2	\$ 1,129.00	0.90703	\$ 1,024.04	\$ (5,250.73)	2	\$ 1,593.76	0.90703	\$ 1,445.59	\$ (13,036.55)
3	\$ 1,129.00	0.86384	\$ 975.27	\$ (4,275.45)	3	\$ 1,593.76	0.86384	\$ 1,376.75	\$ (11,659.80)
4	\$ 1,129.00	0.82270	\$ 928.83	\$ (3,346.62)	4	\$ 1,593.76	0.82270	\$ 1,311.19	\$ (10,348.61)
5	\$ 1,129.00	0.78353	\$ 884.60	\$ (2,462.02)	5	\$ 1,593.76	0.78353	\$ 1,248.75	\$ (9,099.85)
6	\$ 1,129.00	0.74622	\$ 842.48	\$ (1,619.54)	6	\$ 1,593.76	0.74622	\$ 1,189.29	\$ (7,910.57)
7	\$ 1,129.00	0.71068	\$ 802.36	\$ (817.18)	7	\$ 1,593.76	0.71068	\$ 1,132.66	\$ (6,777.91)
8	\$ 1,129.00	0.67684	\$ 764.15	\$ (53.03)	8	\$ 1,593.76	0.67684	\$ 1,078.72	\$ (5,699.19)
9	\$ 1,129.00	0.64461	\$ 727.76	\$ 674.73	9	\$ 1,593.76	0.64461	\$ 1,027.35	\$ (4,671.84)
10	\$ 1,129.00	0.61391	\$ 693.11	\$ 1,367.84	10	\$ 1,593.76	0.61391	\$ 978.43	\$ (3,693.41)
11	\$ 1,129.00	0.58468	\$ 660.10	\$ 2,027.94	11	\$ 1,593.76	0.58468	\$ 931.84	\$ (2,761.57)
12	\$ 1,129.00	0.55684	\$ 628.67	\$ 2,656.61	12	\$ 1,593.76	0.55684	\$ 887.47	\$ (1,874.10)
13	\$ 1,129.00	0.53032	\$ 598.73	\$ 3,255.34	13	\$ 1,593.76	0.53032	\$ 845.20	\$ (1,028.90)
14	\$ 1,129.00	0.50507	\$ 570.22	\$ 3,825.57	14	\$ 1,593.76	0.50507	\$ 804.96	\$ (223.94)
15	\$ 1,129.00	0.48102	\$ 543.07	\$ 4,368.63	15	\$ 1,593.76	0.48102	\$ 766.63	\$ 542.68
16	\$ 1,129.00	0.45811	\$ 517.21	\$ 4,885.84	16	\$ 1,593.76	0.45811	\$ 730.12	\$ 1,272.80
17	\$ 1,129.00	0.43630	\$ 492.58	\$ 5,378.42	17	\$ 1,593.76	0.43630	\$ 695.35	\$ 1,968.16
18	\$ 1,129.00	0.41552	\$ 469.12	\$ 5,847.54	18	\$ 1,593.76	0.41552	\$ 662.24	\$ 2,630.40
19	\$ 1,129.00	0.39573	\$ 446.78	\$ 6,294.33	19	\$ 1,593.76	0.39573	\$ 630.70	\$ 3,261.10
20	\$ 1,129.00	0.37689	\$ 425.51	\$ 6,719.84	20	\$ 1,593.76	0.37689	\$ 600.67	\$ 3,861.77

VAN (10años) =	<b>\$1,367.84</b>	
RECUPERACION =	<b>9.0</b>	AÑOS

VAN (10años)=	<b>\$ (3,693.41)</b>	
RECUPERACION	<b>15.0</b>	AÑOS

Figura 37.

Aplicación del método del Valor Actual Neto (VAN) para el análisis económico de los proyectos de iluminación LED y sistema SOLATUBE con una tasa de retorno del 5%.

A continuación se presentan los resultados de la evaluación del proyecto con luminarias LED y con tubos de luz SOLATUBE 750DS, para una tasa de interés del 10%, una subvención igual a cero (0.0) y un periodo de evaluación de 10 años extrapolado a 20 años para poder determinar el tiempo de recuperación de la inversión (en el caso de tubos de luz).

VAN - LED - USD\$ 210.00 y 35 U					VAN - SOLATUBE 750DS - \$ 800.00 y 20 U				
Tasa = 10%		Subvención 0%			Tasa = 10%		Subvención 0%		
Periodo	Flujo de caja		Valor actual	Saldo	Periodo	Flujo de caja		Valor actual	Saldo
n	Fn	(1+i)^-n	USD\$	USD\$	n	Fn	(1+i)^-n	USD\$	USD\$
0	\$ (7,350.00)	1.00000	\$ (7,350.00)	\$ (7,350.00)	0	\$ (16,000.00)	1.00000	\$ (16,000.00)	\$ (16,000.00)
1	\$ 1,129.00	0.90909	\$ 1,026.36	\$ (6,323.64)	1	\$ 1,593.76	0.90909	\$ 1,448.87	\$ (14,551.13)
2	\$ 1,129.00	0.82645	\$ 933.06	\$ (5,390.58)	2	\$ 1,593.76	0.82645	\$ 1,317.16	\$ (13,233.97)
3	\$ 1,129.00	0.75131	\$ 848.23	\$ (4,542.34)	3	\$ 1,593.76	0.75131	\$ 1,197.42	\$ (12,036.55)
4	\$ 1,129.00	0.68301	\$ 771.12	\$ (3,771.22)	4	\$ 1,593.76	0.68301	\$ 1,088.56	\$ (10,948.00)
5	\$ 1,129.00	0.62092	\$ 701.02	\$ (3,070.20)	5	\$ 1,593.76	0.62092	\$ 989.60	\$ (9,958.40)
6	\$ 1,129.00	0.56447	\$ 637.29	\$ (2,432.91)	6	\$ 1,593.76	0.56447	\$ 899.64	\$ (9,058.76)
7	\$ 1,129.00	0.51316	\$ 579.36	\$ (1,853.56)	7	\$ 1,593.76	0.51316	\$ 817.85	\$ (8,240.91)
8	\$ 1,129.00	0.46651	\$ 526.69	\$ (1,326.87)	8	\$ 1,593.76	0.46651	\$ 743.50	\$ (7,497.41)
9	\$ 1,129.00	0.42410	\$ 478.81	\$ (848.06)	9	\$ 1,593.76	0.42410	\$ 675.91	\$ (6,821.50)
10	\$ 1,129.00	0.38554	\$ 435.28	\$ (412.78)	10	\$ 1,593.76	0.38554	\$ 614.46	\$ (6,207.03)
11	\$ 1,129.00	0.35049	\$ 395.71	\$ (17.08)	11	\$ 1,593.76	0.35049	\$ 558.60	\$ (5,648.43)
12	\$ 1,129.00	0.31863	\$ 359.73	\$ 342.66	12	\$ 1,593.76	0.31863	\$ 507.82	\$ (5,140.61)
13	\$ 1,129.00	0.28966	\$ 327.03	\$ 669.69	13	\$ 1,593.76	0.28966	\$ 461.66	\$ (4,678.96)
14	\$ 1,129.00	0.26333	\$ 297.30	\$ 966.99	14	\$ 1,593.76	0.26333	\$ 419.69	\$ (4,259.27)
15	\$ 1,129.00	0.23939	\$ 270.27	\$ 1,237.26	15	\$ 1,593.76	0.23939	\$ 381.53	\$ (3,877.73)
16	\$ 1,129.00	0.21763	\$ 245.70	\$ 1,482.97	16	\$ 1,593.76	0.21763	\$ 346.85	\$ (3,530.89)
17	\$ 1,129.00	0.19784	\$ 223.37	\$ 1,706.33	17	\$ 1,593.76	0.19784	\$ 315.32	\$ (3,215.57)
18	\$ 1,129.00	0.17986	\$ 203.06	\$ 1,909.39	18	\$ 1,593.76	0.17986	\$ 286.65	\$ (2,928.92)
19	\$ 1,129.00	0.16351	\$ 184.60	\$ 2,093.99	19	\$ 1,593.76	0.16351	\$ 260.59	\$ (2,668.32)
20	\$ 1,129.00	0.14864	\$ 167.82	\$ 2,261.81	20	\$ 1,593.76	0.14864	\$ 236.90	\$ (2,431.42)
VAN (10años) =				\$ (412.78)	VAN (10años)=				\$ (6,207.03)
RECUPERACION =				12.0 AÑOS	RECUPERACION				> 20 AÑOS

**Figura 38.**  
Aplicación del método del Valor Actual Neto (VAN) para el análisis económico de los proyectos de iluminación LED y sistema SOLATUBE con una tasa de retorno del 10%.

Un VAN positivo como el que resulta en los proyectos analizados en este estudio, muestra que la inversión considerada resulta económica. Frente a otra alternativa con un VAN mayor debería escogerse la de VAN más alto. Si la inversión hubiese dado un VAN igual a cero, esto significaría que resultaría indiferente para el inversor. Mientras que, una inversión con un VAN negativo hubiera indicado que los ahorros que se percibirán en el futuro tendrán menor valor que la inversión realizada en el año cero resultando por lo tanto inconveniente.

Por lo tanto, el proyecto de iluminación que es mejor evaluado económicamente es el que utiliza tecnología LED, ya que su VAN para 10 años es el mayor valor e igual a \$

1,367.84, con una tasa de retorno del 5%. Es de mencionar también, que la inversión inicial de \$ 7,350.00 se empieza a recuperar en el 9º año.

Para el caso de la evaluación de los proyectos de iluminación con una tasa de recuperación del 10%, puede observarse que los resultados para un periodo de 10 años ambos son negativos, sin embargo, el proyecto de iluminación LED es el que tiene el valor negativo menor, por lo tanto es el proyecto que menos desvaloriza la inversión inicial para un periodo de 10 años.

Es de observar también, que el efecto de elevar la tasa de retorno aumenta el periodo de recuperación de la inversión, es decir, para el caso del proyecto de iluminación con tecnología LED se aumenta de 9 a 12 años. Por otro lado, el proyecto de iluminación con el sistema SOLATUBE aumenta su periodo de recuperación de la inversión de 15 a otro mayor a 20 años.

### **3.3.2. Método de la Tasa interna de retorno (T.I.R.)**

Para calcular la tasa interna de retorno (TIR), hay que encontrar el valor de la tasa de retorno que haga cero el valor del VAN.

El criterio de aceptación del proyecto de iluminación será aquel cuya tasa de retorno (TIR) sea mayor para un mismo periodo de tiempo, que para nuestro caso es de 10 años. Aunque la alternativa con mayor TIR respecto a la opción convencional no es necesariamente siempre la mejor.

En la figura 39, se presentan los resultados de la evaluación del proyecto con luminarias LED y con tubos de luz SOLATUBE 750DS, aplicando la el método TIR, considerando una subvención igual a cero (0.0) y un periodo de evaluación de 10 años extrapolado a 20 años para poder determinar el tiempo de recuperación de la inversión (para el caso de los tubos de luz).

TIR - LED - \$ 210.00 - 35 U			
TIR =	8.68%	Subvencion	0%
Periodo	Flujo de caja		Valor actual
n	Fn	(1+i)^-n	USD\$
0	\$ (7,350.00)	1.000	\$ (7,350.00)
1	\$ 1,129.00	0.920	\$ 1,038.87
2	\$ 1,129.00	0.847	\$ 955.93
3	\$ 1,129.00	0.779	\$ 879.61
4	\$ 1,129.00	0.717	\$ 809.39
5	\$ 1,129.00	0.660	\$ 744.77
6	\$ 1,129.00	0.607	\$ 685.32
7	\$ 1,129.00	0.559	\$ 630.60
8	\$ 1,129.00	0.514	\$ 580.26
9	\$ 1,129.00	0.473	\$ 533.94
10	\$ 1,129.00	0.435	\$ 491.31
11	\$ 1,129.00	0.400	\$ 452.09
12	\$ 1,129.00	0.368	\$ 415.99
13	\$ 1,129.00	0.339	\$ 382.78
14	\$ 1,129.00	0.312	\$ 352.22
15	\$ 1,129.00	0.287	\$ 324.10
16	\$ 1,129.00	0.264	\$ 298.23
17	\$ 1,129.00	0.243	\$ 274.42
18	\$ 1,129.00	0.224	\$ 252.51
19	\$ 1,129.00	0.206	\$ 232.35
20	\$ 1,129.00	0.189	\$ 213.80
VAN =			<b>0.00</b>

TIR - SOLATUBE 750DS - \$ 800.00 y 20 U			
TIR =	-0.07%	Subvencion	0%
Periodo	Flujo de caja		Valor actual
n	Fn	(1+i)^-n	USD\$
0	\$ (16,000.00)	1.00000	\$ (16,000.00)
1	\$ 1,593.76	1.00071	\$ 1,594.89
2	\$ 1,593.76	1.00142	\$ 1,596.03
3	\$ 1,593.76	1.00213	\$ 1,597.16
4	\$ 1,593.76	1.00284	\$ 1,598.29
5	\$ 1,593.76	1.00356	\$ 1,599.43
6	\$ 1,593.76	1.00427	\$ 1,600.56
7	\$ 1,593.76	1.00498	\$ 1,601.70
8	\$ 1,593.76	1.00570	\$ 1,602.84
9	\$ 1,593.76	1.00641	\$ 1,603.98
10	\$ 1,593.76	1.00713	\$ 1,605.12
11	\$ 1,593.76	1.00784	\$ 1,606.26
12	\$ 1,593.76	1.00856	\$ 1,607.40
13	\$ 1,593.76	1.00927	\$ 1,608.54
14	\$ 1,593.76	1.00999	\$ 1,609.68
15	\$ 1,593.76	1.01071	\$ 1,610.83
16	\$ 1,593.76	1.01143	\$ 1,611.97
17	\$ 1,593.76	1.01214	\$ 1,613.12
18	\$ 1,593.76	1.01286	\$ 1,614.26
19	\$ 1,593.76	1.01358	\$ 1,615.41
20	\$ 1,593.76	1.01430	\$ 1,616.56
VAN =			<b>0.00</b>

Figura 39.

Aplicación del método de la Tasa Interna de Retorno (TIR), para el análisis económico de los proyectos de iluminación LED y sistema SOLATUBE.

Sin embargo, según el análisis realizado utilizando la metodología de la TIR, el proyecto de iluminación que obtuvo el mayor valor de la TIR es el que usa la tecnología LED para iluminación, con un valor de TIR igual a 8.68%, cuyo periodo de recuperación de la inversión inicial se empieza a recuperar en el 9° año.

Es de hacer notar también, que las dos metodologías de evaluación de proyectos VAN y TIR, coincide en que el mejor proyecto de iluminación desde el punto de vista económico es el que utiliza tecnología LED.

### 3.4. RESUMEN

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos producto de la simulación con el software DIALux 4.11. La simulación con el software DIALux 4.11 se efectuó a cada uno de los proyectos de iluminación que se proponen en este estudio y sobre el mismo local que fue el edificio para Docentes de la Unidad de Ciencias Básicas, desde la óptica de enfocar primero la situación actual de la iluminación del local y estableciendo una línea base con la finalidad de poder compararla posteriormente con los dos proyectos de iluminación que se proponen.

Es de tomar en cuenta que los dos proyectos de iluminación que se proponen para el mismo local, cumplen con la normativa de calidad de iluminación según la normativa española UN- EN\_12464-1\_2003.

Para poder determinar cuál es el proyecto de iluminación que más conviene, se utilizaron dos métodos de análisis económico, como son el método del Valor Actual Neto (V.A.N.) y método de la Tasa Interna de Retorno (T.I.R.), suministrando resultados valiosos para la toma de decisión.

## CONCLUSIONES

Después de haber finalizado el presente estudio sobre ahorro de energía a través de sistemas de aporte de luz natural y en particular utilizando el sistema SOLATUBE, se concluye lo siguiente:

- La situación actual del nivel de iluminación del edificio para cubículos de la Unidad de Ciencias básica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, está por arriba de los valores recomendados por la norma española UNE-EN 12463 -1 -2003, que sugiere el valor de 500 lux. Estos resultados luminotécnicos se obtuvieron a través del Software para cálculo de iluminación DIALux 4.11. Por lo tanto, existe posibilidades de ahorro de energía por medio del uso de una tecnología de iluminación más eficiente y en reducir el nivel de iluminación a 500 lux.
- El edificio para cubículos de la Unidad de Ciencias básicas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, desde el punto de vista constructivo está mal orientado, ya que su fachada mira al Oeste y no al norte como se recomienda para nuestra latitud. Además, las ventanas del lado Sur del edificio no permiten el paso de la luz solar directa ya que están obstaculizadas por un techo y otro edificio. En consecuencia, la luz natural no alcanza a iluminar el centro del edificio bajo estudio.
- El diseño de la iluminación para el edificio bajo estudio, utilizando luminarias tipo LED de 3x18W con difusor, requiere de 35 unidades para mantener un nivel de iluminación promedio de 500 lux. Es decir, se reduce el número de luminarias de 42 (3x32W T8, 11612.16 kWh/año) a 35 (3x18W T5, 5443.2 kWh/año). Por lo tanto, se consigue un ahorro energético de 6168.96 kWh/año.
- El diseño de iluminación para el edificio bajo estudio, utilizando el sistema SOLATUBE 750DS con difusor rectangular para cielo cerrado, requiere de 20 unidades para mantener el nivel de iluminación promedio de 500 lux. Este sistema

SOLATUBE 750DS, produciría un ahorro de 9676.6 kWh/año que equivale a un 83% de consumo de energía actual, debido a que el sistema se ve limitado por las horas de luz solar.

- De acuerdo a los métodos de evaluación VAN y TIR , en lo que respecta a los proyectos de iluminación presentados en este estudio, el que mayor factibilidad es el que utiliza tecnología LED, ya que este produce un ahorro de energía anual de 6168.96 kWh/año, que equivale a USD\$ 1129.00/año, a pesar de tener un periodo de recuperación de la inversión a partir del 9° año.

## RECOMENDACIONES

Sin duda que, el uso de tecnologías nuevas basadas en el aprovechamiento de energías renovables trae consigo un cambio de conducta, así que parte de su éxito en las aplicaciones en las que se utilice depende mucho de cómo las aceptemos, por lo tanto, los sistemas de aporte de luz natural no son la excepción, por lo cual se establecen las siguientes recomendaciones:

- Utilizar los sistemas de aporte de luz natural de la empresa SOLATUBE 750DS, en una instalación piloto a fin de corroborar su eficacia en la calidad de la iluminación en el interior de locales, y corroborar sus resultados con los simulados a fin de acrecentar el criterio científico-académico en el personal.
- Es necesario para minimizar los costos de la instalación de los sistemas de iluminación natural de la empresa SOLATUBE 750DS, que el personal de la Universidad sea capacitada y realice la instalación.
- Debido a que la tecnología de iluminación natural de la empresa SOLATUBE es costosa y no es subsidiada en nuestro país, es necesario buscar un financiamiento que puede ser obtenido en los ahorros que podrían obtenerse si aplicaran medidas de ahorro energético en el rubro de climatización de locales, que a la fecha no es una política en nuestra Universidad.
- Es necesario, evaluar los sistemas de aporte de luz natural de la empresa SOLATUBE, con el accesorio “Anillo LED”, y subsidiarla con los ahorros antes mencionados. Ya que estos sistemas trabajando juntos mejoran la calidad de la iluminación del interior de los locales, debido a que el sistema del “Anillo LED” compensa las deficiencias de iluminación natural durante el día y durante la noche.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Guía Técnica de “Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios”. IDAE (2005).
- Guía Técnica de “Eficiencia energética en iluminación”. IDAE (2001)
- Norma Española UNE-EN 12464 – 1. Octubre 2003.
- Cuadernos de Eficiencia Energética en Iluminación. IDAE-CEI. 1997.
- Guía de Iluminación Interior. Informe técnico. Publicación de la CIE nº 29.2 (1986).
- Revista internacional de Luminotecnia 98/1.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. Daylight: International Recommendations for the Calculation of Natural Daylight, CIE No.16 / E-3.2 – 1970.
- Julián Ramírez y Cristian Llano. “Guía para el Diseño de Instalaciones de Iluminación Interior utilizando DIALux”. Universidad Tecnológica de Pereira, 2012.
- Cartagena Portillo, Juan Pablo. “Eficiencia energética en los edificios de la FIA de la Universidad de EL Salvador.” Tesis Ingeniero Electricista. San Salvador, Marzo de 2012.

### **Sitios Web.**

- <http://www.idae.com>
- <http://www.solatube.com>
- <http://www.dial.de>
- <http://www.everlux.com>
- <http://www.cie.co.at/cie/>

## GLOSARIO DE TERMINOS

Con el propósito de lograr un mayor entendimiento de los conceptos utilizados en este estudio de iluminación, se presentan algunos de los conceptos más relevantes:

- **Difusor:** Parte de una luminaria que modifica la distribución de luz de una lámpara utilizando el fenómeno de la difusión de la luz.
- **Diagnostico energético:** es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema, con el fin de reducir la cantidad de energía de entrada al sistema y costos, sin afectar negativamente la productividad.
- **Eficacia luminosa:** es el cociente entre el flujo emitido por una lámpara y la potencia disipada por la misma. Unidad: lm/W.
- **Entorno de trabajo:** combinación de personas y objetos que interactúan en el proceso visual.
- **Espacio de trabajo:** espacio designado a una o mas personas para desarrollar una tarea.
- **Factor de utilización:** relación entre el flujo útil y el flujo luminoso emitido por las lámparas.
- **Factor de luz natural o luz de día:** relación entre la iluminancia, en un punto de un plano dado, debida a la luz recibida directa o indirecta desde un cielo cuya distribución de luminancia se conoce, y la iluminación sobre un plano horizontal procedente de un hemisferio de este cielo sin obstáculos. De ambas luminancias se excluye la contribución de la luz solar directa.
- **Factor de mantenimiento:** cociente entre la iluminación provista por una instalación en un momento dado y cuando fue instalada.
- **Iluminancia:** cociente de flujo luminoso  $d\phi$  incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto, por el área  $dA$  de ese elemento, siendo la unidad de medida el lux.
- **Iluminancia inicial ( $E_{inicial}$ ):** iluminancia media cuando la instalación es nueva.

- **Índice de deslumbramiento unificado (UGR):** es el índice de deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior, definido en la publicación CIE (Comisión Internacional de Alumbrado) n° 117.
- **Iluminación general:** iluminación diseñada para iluminar todo con la misma iluminancia aproximadamente.
- **Iluminación localizada:** iluminación diseñada para iluminar un interior y a la vez proveer de mayor iluminancia a una zona particular.
- **Iluminancia media en plano horizontal (E):** iluminancia promedio sobre el área especificada. El número mínimo de puntos a considerar en su cálculo, estará en función del índice de local (K) y de la obtención de un reparto cuadrículado simétrico.
- **Índice de rendimiento de color (Ra):** efecto de un iluminante sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación con su aspecto bajo un iluminante de referencia. La forma en que la luz de una lámpara reproduce los colores de los objetos iluminados se denomina índice de rendimiento de color (Ra). El color que presenta un objeto depende de la distribución de la energía espectral de la luz con que está iluminado y de las características reflexivas de dicho objeto.
- **Lámpara:** fuente construida para producir una radiación óptica, generalmente visible.
- **Luminaria:** aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que, además de los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito eléctrico de alimentación contiene, en su caso, los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento, definida y regulada en la norma UNE EN 60598-1:1998.
- **Plano de trabajo:** Plano horizontal sobre el cual se calculará la iluminancia media. Usualmente par oficinas y similar se considera 0.85 metros.
- **Radiación Difusa:** parte de la radiación solar que alcanza la superficie de la tierra como resultado de ser difractada por las moléculas de aire, partículas de aerosoles, de nubes u otras partículas.

- **Radiación Solar Directa:** parte de la radiación solar extraterrestre que alcanza la superficie de la tierra en forma de haz colimado después de atenuación selectiva por la atmosfera.
- **Refracción:** cambio en la dirección de propagación de una radiación, determinado por el paso de un medio a otro.
- **Reflectancias:** cociente entre el flujo radiante o luminoso reflejado y el flujo incidente en las condiciones dadas. Se expresa en tanto por ciento o en tanto por uno.
- **Reflexión:** reenvío de radiación por una superficie. Puede ser: difusa, difusión por reflexión en todas las direcciones; o especular o regular, regular sin difusión que obedece a las leyes ópticas válidas para los espejos.
- **Rendimiento:** es el cociente del flujo que sale de la luminaria por el flujo emitido por las lámparas que se encuentran instaladas en ella.
- **Sistema de aprovechamiento de luz natural:** conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a regular de forma automática el flujo luminoso de una instalación de iluminación, en función del flujo luminoso aportado a la zona por la luz natural, de tal forma ambos flujos aporten un nivel de iluminación fijado en un punto, donde se encontraría el sensor de luz.
- **Temperatura de color:** es la temperatura, a la que el “cuerpo negro” (definido en física teórica) adquiere el mismo color que la lámpara en cuestión. Para fines de alumbrado general interior, la norma DIN 5035, clasifica la luz en tres clases de colores: blanco cálido, por debajo de los 3300°K, blanco neutro, 3300 a 5000°K y blanco frío por encima de 5000°K.
- **Tragaluz:** es una ventana situada en el techo o la parte superior de una pared utilizada para proporcionar luz a una habitación.
- **Tragaluz tubular:** por lo general de aluminio, que permite dar luz natural a aquellas habitaciones que no pueden iluminarse mediante ventanas convencional al exterior.
- **Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI):** valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es ( $W/m^2$ ) por cada 100 lux.

**ANEXO**

**“TECNOLOGIA DE ILUMINACION NATURAL DE LA  
EMPRESA SOLATUBE”**

# “ Estamos cambiando el concepto que las personas tienen sobre la Iluminación Natural.”

David Rillie  
CEO de Solatube  
Solatube International, Inc.

.....  
Seamos realistas: el cambio no es algo que se produce espontáneamente. Al fin y al cabo no nos despertamos un día y decidimos revolucionar la industria de la iluminación natural. A decir verdad, cambiar la forma en la que la gente utiliza la iluminación natural ha constituido una búsqueda apasionada para todos los que pertenecemos a Solatube.

Cuando comenzamos, nuestro reto era encontrar una manera económica para transportar la luz natural al interior de los edificios, algo hasta entonces imposible. Los primeros diseños fueron revolucionarios y reconocidos en los medios de comunicación, además conseguimos la satisfacción de nuestros clientes en todo el mundo y para poder hablar de un nuevo invento, necesitábamos un nuevo término, "Tragaluz Tubular". Desde entonces seguimos innovando. Hemos mejorado la tecnología óptica del domo y del difusor, aumentamos la reflectividad de los conductos....El resultado es que nuestro producto no es un tragaluz tubular, sino un Sistema de Iluminación Natural de alto rendimiento.

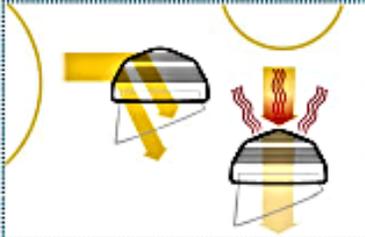
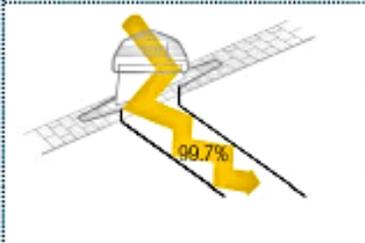
Como siempre, Solatube está técnicamente un paso por delante con respecto a sus competidores en Sistemas de Iluminación Natural. Prepárese: porque lo que va a ver a continuación le inspirará con toda certeza.

.....

## CONTENIDO

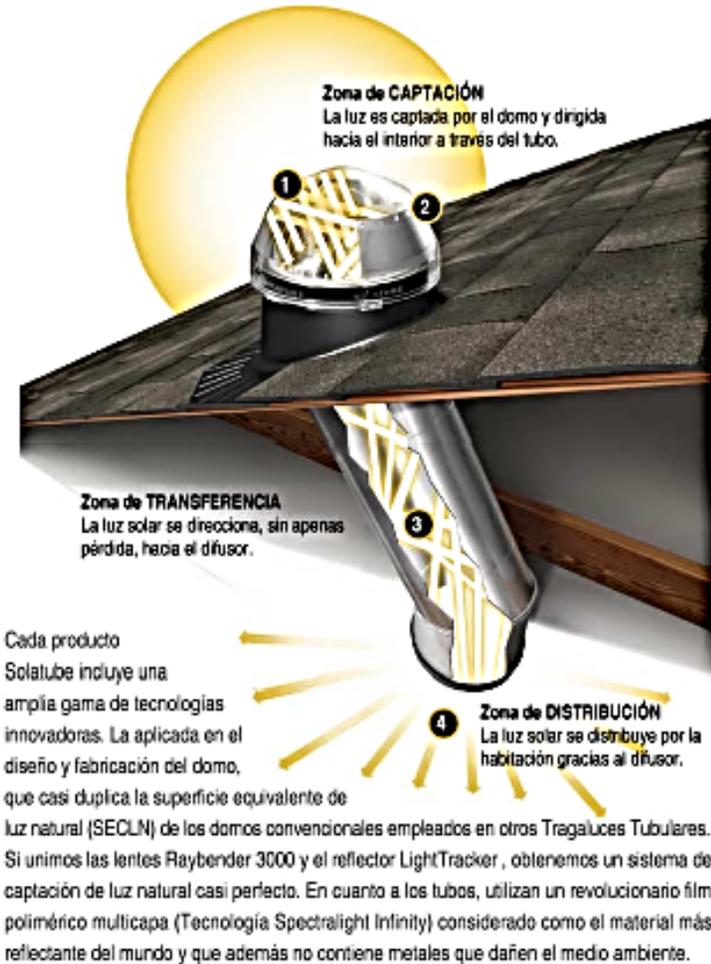
Mayores prestaciones con la mayor tecnología	4
Diseñado para su tranquilidad	6
Serie Brighten Up	9
Bases para el tejado y accesorios	11
Gama de productos: Viviendas particulares	13

# Mayores prestaciones con la mejor tecnología

	<p><b>1 Tecnología Raybender® 3000</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lentes de domo patentadas para la mejor captura de la luz natural.</li> <li>• Redirige la luz con menor ángulo y rechaza la que incide con mayor intensidad (verano).</li> <li>• Iluminación garantizada durante todo el día</li> </ul>
	<p><b>2 LightTracker™</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reflector patentado en el interior del domo.</li> <li>• Intercepta y redirecciona la luz solar de menor ángulo (invierno).</li> <li>• Aumenta la cantidad de luz que entra por el tubo.</li> <li>• Prestaciones insuperables durante todo el año.</li> </ul>
	<p><b>3 Tubos Spectralight® Infinity</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los tubos más reflectantes del mundo.</li> <li>• 99,7% de reflectividad espectral.</li> <li>• Realiza la belleza natural de los colores.</li> <li>• Transfiere la luz solar hasta una distancia de 15 m.</li> </ul>
	<p><b>4 Diseño de la Difusión de la Luz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los difusores garantizan la óptima distribución de luz por la habitación.</li> <li>• Bloqueador de los rayos perjudiciales UVA y UVB.</li> <li>• Varios difusores disponibles, para diferentes combinaciones decorativas.</li> <li>• Certificado Energy Star (Microeficiente de Energía)</li> </ul>

\* Serie Brighten Up® solo

## Sistema de Iluminación Natural Solatube®



**Zona de CAPTACIÓN**  
La luz es captada por el domo y dirigida hacia el interior a través del tubo.

**Zona de TRANSFERENCIA**  
La luz solar se direcciona, sin apenas pérdida, hacia el difusor.

**Zona de DISTRIBUCIÓN**  
La luz solar se distribuye por la habitación gracias al difusor.

Cada producto Solatube incluye una amplia gama de tecnologías innovadoras. La aplicada en el diseño y fabricación del domo, que casi duplica la superficie equivalente de luz natural (SECLN) de los domos convencionales empleados en otros Tragaluces Tubulares. Si unimos las lentes Raybender 3000 y el reflector LightTracker, obtenemos un sistema de captación de luz natural casi perfecto. En cuanto a los tubos, utilizan un revolucionario film polimérico multicapa (Tecnología Spectralight Infinity) considerado como el material más reflectante del mundo y que además no contiene metales que dañen el medio ambiente.

# Diseñados para su tranquilidad

Para el diseño de los nuevos modelos Solatube, nuestros ingenieros han tenido en cuenta hasta el más pequeño de los detalles. Como resultado hemos obtenido un Sistema de Iluminación Natural ( SIN ) resistente a los impactos, sin apenas mantenimiento y fácil de instalar aún cuando existan obstáculos a su alrededor. En resumen, diseñados para su tranquilidad.



## DOMO

Fabricados con material acrílico mediante el proceso "Injection molded", resisten los impactos y filtran las radiaciones UV (hasta 380 nm) que causan la decoloración de los objetos y el cáncer de piel. Por sus características, es el único domo cuya geometría maximiza la captación de luz y a la vez rechaza las partículas suspendidas. Gracias a la humedad natural, al rocío y la lluvia se mantiene limpio y transparente.

## BASES DE TEJADO O CUBIERTA

Para evitar la aparición de grietas por la dilatación/contracción térmica, nuestras bases se fabrican por proceso de estampación. Los canales de agua integrados y el perfil interior plano, que permite ajustar la base a la solera de la cubierta, impiden la entrada de agua y garantizan la impermeabilización. Con el fin de obtener la máxima entrada de luz solar, las bases están disponibles con torreta plana o inclinada (ver foto)



## ADAPTADORES DE ÁNGULO

Cada sistema Solatube® incluye dos tubos de extensión estándar con ángulo adaptador (30,5 cm). Esto nos permite orientar los tubos a cualquier posición virtual de forma sencilla, y sortear los obstáculos existentes bajo cubierta o en falsos techos. Su revestimiento reflectante (Spectralight® Infinity), consigue la conducción de la luz a través del tubo sin apenas pérdidas, gracias a su reflectividad del 99,7 %. Para instalaciones de mayor dificultad, existen tubos regulables de 0 a 90 grados. (Ver foto)



## SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD

La condensación se produce por la infiltración del aire dentro del tragaluz tubular, para evitar la misma, nuestro sistema incluye la instalación en fábrica de tres juntas, que evitan o aminoran la entrada del aire. Por otra parte el domo, gracias a su forma de bóveda, conduce el agua hacia el exterior a través de unos pequeños orificios de salida. (Ver foto)



## INSTALACIÓN

Un gran producto sólo es bueno si lo es su instalación. Es por eso que presentamos un SIN que conlleva una instalación más fácil que nunca, con piezas montadas previamente y con un menor número de ellas. En consonancia con esta simplicidad, se minimizará el nivel de errores y se hará que los costes de instalación sean asequibles.

## CÓDIGO Y APROBACIONES

Tenga por seguro que los productos del sistema de luz natural de Solatube se pueden usar en su proyecto sin ningún problema. Nuestro sistema de iluminación natural ha sido certificado por las principales agencias de aprobación de productos de edificación.

- A440-05 (AAMA/WDMA/CSA)
- ICC
- Código de edificación de Florida/Zona de viento de alta velocidad
- Ciudad de Los Angeles
- Texas Department of Insurance
- ENERGY STAR®/NRC
- SBCCI
- Marcado CE
- BBA (Reino Unido)
- CTBS (Francia)
- Certificado acústico  
EN 12183:2001-1:2007, 1:2001:2006



## Serie Brighten Up®

Solatube 160 DS  
Solatube 290 DS

Los nuevos modelos de Solatube 160 DS y 290 DS están fabricados con un sobresaliente nivel de calidad nunca visto antes. Incluyen nuestras patentes Raybender® 3000 y LightTracker™ que permiten una Superficie Efectiva de Captura de Luz Natural (SECLN), significativamente superior a nuestros modelos anteriores, 25 cm y 35 cm. Además unido a su alta efectividad, permite iluminar más m<sup>2</sup> que antiguamente.

Modelo	Tamaño de Tubo	SECLN*	Area de cobertura de la luz (residencial)	Longitud potencial del tubo
Solatube 160 DS	(250 mm)	(1032 cm <sup>2</sup> )	(14 - 19 m <sup>2</sup> )	(6 m+)
Solatube 290 DS	(350 mm)	(1871 cm <sup>2</sup> )	(23 - 28 m <sup>2</sup> )	(9 m+)

\*SECLN (Superficie Efectiva de Captura de Luz Natural). Representa el área real del domo que recoge y redirige la luz del sol. Por comparativa, un domo translúcido normal de 25 cm tiene una SECLN de 506 cm<sup>2</sup>. Compare la diferencia.



### Recomendable para :

- Cuartos de baño
- Pasillos / Vestidores
- Huecos de Escalera
- Despachos
- Cocinas
- Comedores

## Difusores de la Serie Brighten Up®

Solatube 160 DS  
Solatube 290 DS

La Serie Brighten Up® ofrece dos posibilidades diferentes de difusores diseñados con patentes registrada, que permiten una gran eficacia para la difusión de la luz. Sus anillos embellecedores, de bajo perfil en color blanco, se integran perfectamente en el techo sin piezas de fijación visibles. Gracias a su doble cristal le ha sido concedido el certificado Energy Star, que se otorga a aquellos productos que ahorran energía de forma eficiente.

### Vusion™

Difusor plano que ofrece una gran difusión de luz, con la ventaja de no sobresalir del techo. Su diseño armoniza con la mayoría de los interiores.

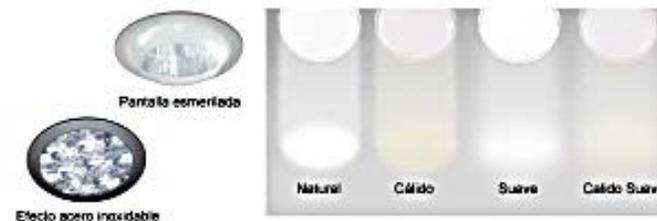


### OptiView®

Considerado lo último en diseño de difusores, utiliza lentes Fresnel de policarbonato que proporcionan luz natural de forma cristalina y dan una imagen única del cielo.

## Toques de diseño

Solatube también ofrece la posibilidad de personalizar los espacios con la ayuda de filtros de luz y difusores con un diseño más moderno.

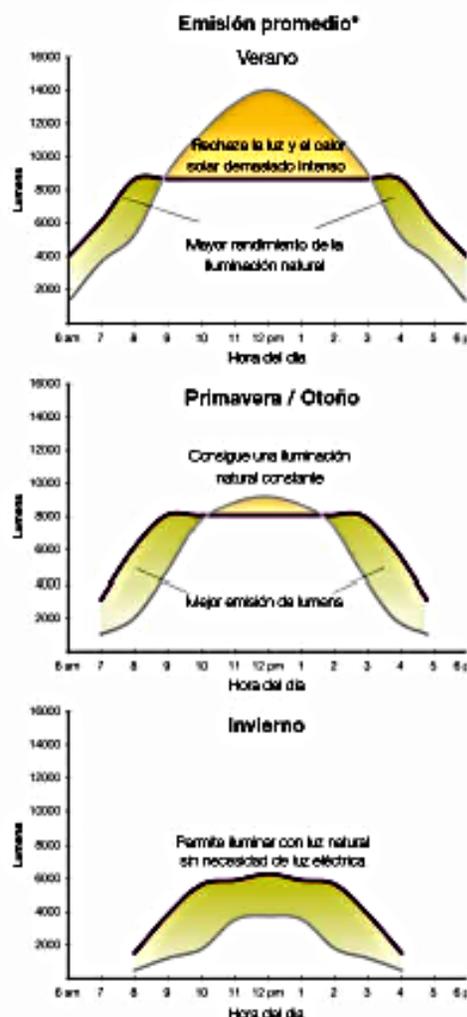


## RENDIMIENTO DEL SOLATUBE® 750 DS

### La regularidad de la luz.

Está diseñado para proporcionar el mayor rendimiento durante todas las horas diurnas del año. Son los mejores para aprovechar la luz solar de primeras y últimas horas del día (mañana y tarde) lo cual permite unas perfectas prestaciones a lo largo del día.

— Sistema de iluminación natural Solatube® 750 DS  
— Dispositivo tubular de iluminación con abertura de 53 cm



### Rendimiento Térmico

El Solatube® 750 DS ofrece un rendimiento térmico insuperable. Sus características exclusivas, como el sistema de domo doble, la tecnología Raybender® 3000 y los tubos Spectralight® Infinity funcionan en concierto para proporcionar al dispositivo de iluminación tubular con mayor eficiencia de energía disponible.



\*\* Energy Star Pending SHGC y Uf estimado.

	Coefficiente ganancia calor solar	Factor U
Requisitos Energy Star®	<0,40	<0,60
Solatube 750 DS	0,20	0,55

La eficiencia energética del sistema de iluminación Solatube no es comparable con ningún sistema similar del mercado.

### Eficiencia Visiblemente Mejor

Con el Solatube 750 DS nunca tendrá que sacrificar el rendimiento de la iluminación natural para lograr una eficiencia de energía extraordinaria. A diferencia de la mayoría de los productos transducidos, los sistemas de iluminación natural Solatube ofrecen un rendimiento máximo de la iluminación con una ganancia mínima de calor solar. Los sistemas de iluminación Solatube tienen una relación de rendimiento de la energía de más del doble en comparación con los productos transducidos o ventanas, lo que los convierte en la opción de mayor rendimiento para proporcionar iluminación natural a cualquier espacio.

Sistema	Transmisión de luz (T)	Acumulación de calor solar (SHGC)	Relación de rendimiento de energía de la iluminación natural (T / SHGC)
Ventana de baja emisión con vidrio triple Vidrio transparente, paquete suspendido de espacio con baja emisión de calor	22%	0,18	1,28
Ventana con vidrio triple	63%	0,36	1,75
Ventana con vidrio doble (Tipo dinámico)	71%	0,49	1,45
Cristalino de doble capa o triple	71%	0,51	1,39
Sistema de iluminación diurna Solatube 750 DS	80%	0,20*	3,00

Fuente: Proyecto de investigación de la función de ponderación espectral NFRC, banded 2.0, marzo de 2007.

### Rendimiento acústico

El Solatube 750 DS ofrece un excelente aislamiento acústico. Al incorporar en el sistema la tecnología Raybender 3000®, aumentamos drásticamente el aislamiento sonoro. Nuestro departamento de investigación y desarrollo no solo ha creado el sistema de iluminación más eficiente, si no que también ha eliminado los ruidos ofreciendo el mayor nivel de confort.



### Aislamiento acústico

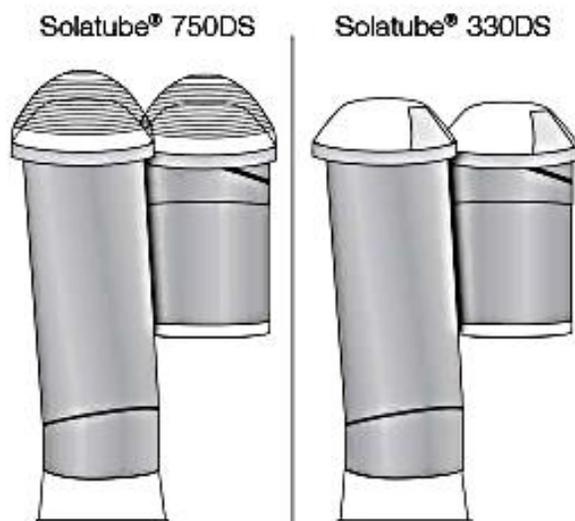
Procedimiento aplicado: PT-AC-D1-P-05. Requisitos del laboratorio y procedimientos de ensayo de acuerdo con la Norma UNI EN ISO 717-1:140-1:2006  
 $D_{n,e,w}(C_2/C_{tr}) \geq 49 \text{ dB}^1$  (DS 750)

\* Una comparación de rendimiento por hora en lumens en la parte media de Estados Unidos (Denver) con dispositivos tubulares de iluminación natural de 53 cm de diámetro. Nota: Tubo de 3 metros de longitud. El sistema de iluminación natural Solatube 750 DS está equipado con tecnología Raybender® 3000, domo interior, tubo Spectralight® Infinity y difusor OptiView®. El dispositivo tubular de iluminación natural de 53 cm de diámetro estándar tiene un domo transparente, tubo plateado mejorado y un solo difusor premixado.

1 | Los valores indicados hacen referencia a exámenes realizados por peritos de institutos independientes. Los detalles de los datos de ensayo y certificaciones individuales están disponibles mediante solicitud. El valor de aislamiento sonoro ponderado y estandarizado hace referencia al sistema Solatube instalado.

## SÉRIE SOLAMASTER / Modelos®

La serie SolaMaster® ofrece a los arquitectos y diseñadores una completa selección de opciones de iluminación natural virtualmente para todas las aplicaciones. No importa si se trata de iluminar un almacén grande o de integrarla en un falso techo, la serie Solatube® SolaMaster® le permite llevar la iluminación natural virtualmente a todos los espacios.



Especificaciones técnicas		
Dámetro	530 mm	530 mm
EDCS	408 cm <sup>2</sup> (150%)	2120 cm <sup>2</sup> (220%)
Características tecnológicas		
Tecnología Raybender® 3000	•	•
Light Tracker®	•	•
Tubo Spectralight® Infinity	•	•
Rendimiento energético		
Energy Star®	•	•
Proyecto		
Longitud recomendada de los tubos	> 15 m	> 15 m
Opciones de espejo con el uso del difusor OptiView®		
Desde los paneles	≥ 0.5 MH	≥ 0.5 MH
Entre unidades	1.0MH a espacio=1.3MH	1.0MH a espacio=1.3MH
Opciones de espejo con el uso del difusor Prisma®		
Desde los paneles	≥ 0.5 MH	≥ 0.5 MH
Entre unidades	0.5MH a espacio=1.0MH	0.5MH a espacio=1.0MH

## Bases para la Serie SolaMaster®

Solatube® 750DS  
Solatube® 330DS

Dispone de bases metálicas duraderas, que aseguran una instalación rápida y sin complicaciones, en cualquier tipo de tejado/cubierta e inclinación. Las bases son compatibles con toda clase de teja, pizarra, terraza y tejados metálicos.



## ACCESORIOS PARA LA SERIE SOLAMASTER®

### Regulador de Luz Natural

Nos permite controlar la cantidad de luz que necesitamos en cada momento. Su deflector de mariposa se activa con un simple interruptor (se vende por separado). Acepta fuentes de alimentación de 90 a 227 voltios AC. Ideal para salas de reuniones, aulas y oficinas.

\*Patent 7,082,726



Requiere un interruptor EPEL, una placa de pared y un cable de 1 m. Con un solo interruptor se pueden controlar varios unidades conectadas en serie.

### Kit Anti-condensación

Consiste en un anillo de neopreno, que ajustado a la parte superior de la base, sella el tubo del aire frío exterior, eliminando los problemas de condensación.



### Barra de Seguridad

Una barra de acero inoxidable que se inserta dentro de la tuerca de la base de tejado atravesando el diámetro de esta. La barra se ajusta usando remaches, y evita la entrada de intrusiones por el interior del tubo.



### Domo Anti-impactos

En zonas con vientos fuertes como el Sur de Florida, se requiere el domo interior anti-impacto de Solatube. Este domo interior de alta resistencia a impactos se puede añadir a su instalación para disponer de una protección extra que combata las fuerzas ambientales extremas.



### Tubos de Extensión Spectralight Infinity

Los tubos de extensión se pueden añadir en incrementos de 600 mm para recorridos largos sin apenas pérdida de prestaciones. El secreto es la tecnología única del Spectralight® Infinity. Este tubo de marca registrada, tiene la reflectividad más alta del mundo, para ofrecer una luz más blanca y brillante.



### Kit de Seguridad del Domo

El kit consiste en seis remaches con espaciadores de nailon de protección (que sustituye a los tornillos del domo). Esto evita que un intruso pueda acceder fácilmente través del domo.

