

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE ILUMINACION APLICADAS A EDIFICIOS TERCIARIOS**

Jorge Alejandro Ochoa Berrío

Tecnología electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

Luis Fernando Grisales Noreña

Jairo Alberto Diaz Acevedo

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**12 de octubre de 2017**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

El objeto de este trabajo es identificar y analizar estrategias de ahorro energético aplicadas a sistemas de iluminación en edificaciones terciarias. Para esto se recopilaron y analizaron diferentes estudios y aplicaciones enfocadas a aumentar la eficiencia energética de este tipo de edificaciones. Para lograr este objetivo fue necesario investigar cada uno de los componentes y variables que forman parte de un sistema de iluminación, logrando su comprensión, y así poder determinar qué es lo que se debe evaluar y analizar a la hora de mejorar la eficiencia energética del sistema, teniendo en cuenta las restricciones y recomendaciones especificadas por los diferentes entes reguladores y normativas. Las estrategias de ahorro investigadas muestran en sus resultados que pueden lograrse altos niveles de ahorro. Dentro de las diferentes estrategias analizadas se encontró que es de vital importancia tener en cuenta los siguientes aspectos para la implementación de estrategias de ahorro en sistemas de iluminación: seleccionar adecuadamente la luminaria y sus componentes de acuerdo a la actividad a realizar, instalarlos a las alturas apropiadas de acuerdo a sus características técnicas, además de la orientación del espacio a iluminar para lograr una buena dispersión de la luz natural y la aplicación de software para analizar un estado energético.

Palabras clave: sistemas de iluminación, edificaciones terciarias, consumo de energía, RETILAP, estrategias de ahorro energético.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradezco sobremanera a mi familia, que siempre me inculcó el interés por la educación debido a su gran importancia; y por su apoyo incondicional tanto anímico como económico sin importar mi inclinación profesional. También agradezco a los docentes, por su esmero a la educación, y por procurar, en la medida de lo posible, que el estudiante comprenda y relacione los fundamentos teóricos con situaciones prácticas; gracias a eso se hacen notorias las mejoras en mi formación y permiten una conclusión satisfactoria por medio de este proyecto. En esta página dedicada a distinguir a esas personas que siempre me ayudaron, quiero agradecer a mi empleador, por brindarme la oportunidad de laborar organizando mis horarios y así costear mi formación profesional.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

**ASD:** Sistema detector de ausencia, de sus siglas en inglés (Absence detector system).

**DALI:** Interfaz de iluminación direccionable digital, de sus siglas en inglés (Digital Addressable Lighting Interface).

**DHS:** Sistema de luz natural, de sus siglas en inglés (Daylight system).

**HVAC:** sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, de sus siglas en inglés (Heating, Ventilation and air conditioning).

**IDDS:** sistema de regulación de luz diurna individual, de sus siglas en inglés, (Individual daylight regulation system).

**LCS:** Sistema de control de iluminación, de sus siglas en inglés (Lighting control systems).

**LED:** diodo emisor de luz, de sus siglas en inglés (light Emitting Diode).

**LENI:** indicador numérico de energía de iluminación.

**MDD:** Regulación de movimiento, de sus siglas en inglés (Movement regulation).

**MDS:** Conmutación de detección de movimiento, de sus siglas en inglés (Motion detection switching).

**PPLS:** cargas de enchufe y procesamiento, de sus siglas en inglés (Plug and process charging).

**PSD:** Sistema detector de presencal, de sus siglas en inglés (Presence detector system).

**Ra:** Índice de reproducción cromática.

**RETIE:** reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

**RETILAP:** Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.

**TSK:** Lámpara de tareas LED, de sus siglas en inglés (Led task lamp).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
3. METODOLOGÍA.....	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	57
REFERENCIAS .....	60

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Los sistemas de iluminación son de gran importancia para el desarrollo de las diferentes actividades económicas o sociales. En los últimos años el consumo de energía eléctrica ha venido en constante crecimiento, teniendo este tipo de sistemas más de un 20% de responsabilidad en el consumo de energía en edificaciones terciarias (Ing. Ramírez et al., 2014). Por tanto, es de suma importancia el planteamiento de estrategias direccionadas a lograr el uso racional de la energía y eficiencia en los sistemas de iluminación. El presente trabajo se enfoca en identificar estrategias de ahorro energético para los sistemas de iluminación, con el fin de establecer un listado y análisis de los diferentes métodos utilizados actualmente y aquellos que se están desarrollando en la literatura. Así pues, a continuación, se presentan los objetivos de este producto de laboratorio de investigación:

## **OBJETIVO GENERAL:**

Identificar y analizar estrategias de ahorro energético para sistemas de iluminación aplicadas a edificios terciarios.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Identificar cada uno de los componentes involucrados en los sistemas de iluminación, enfocado a edificaciones terciarias.
- Determinar las variables y parámetros para la identificación del estado energético de los sistemas de iluminación.
- Identificar las normas que rigen los sistemas de iluminación.
- Analizar estrategias de ahorro energético aplicadas a los sistemas de iluminación en una edificación terciaria.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este informe final de investigación se encuentra compuesto por 5 secciones: la primera sección pertenece a la introducción, donde se describe de manera general la pertinencia, justificación y problema presentado en los sistemas de iluminación. La segunda etapa muestra el marco teórico del trabajo, donde se definen aspectos como edificaciones terciarias, sus cargas eléctricas más relevantes y los parámetros fundamentales de los sistemas de iluminación. En la tercera sección se describe la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos planteados anteriormente. La cuarta sección hace alusión a los resultados, donde se presentan, describen y analizan las diferentes estrategias para los sistemas de iluminación. Además, se definen las variables involucradas en el consumo energético de los sistemas de iluminación, lo cual se utilizó en el análisis de las diferentes estrategias. Finalmente, la quinta sección está dedicada a las conclusiones, recomendaciones y el trabajo futuro de esta investigación.

## 2. MARCO TEÓRICO

---

La globalización y el alto crecimiento de la población son proporcionales al consumo de la energía eléctrica. Gran parte de esta energía es consumida en el sector correspondiente a las edificaciones terciarias, los cuales son responsables del 40% del consumo de energía (Atienza, 2013). Por lo cual se hace necesario conocer este tipo de edificaciones y las diferentes herramientas o metodologías existentes para mejorar su eficiencia energética.

### 2.1. EDIFICACIONES TERCIARIAS.

Las edificaciones terciarias son aquellas que tienen por finalidad la prestación de servicios enfocados a personas naturales o empresas en general, solventando las necesidades de diferentes tipos de usuarios (center for sustainable system, 2016). En la tabla 1 se enuncian

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

y describen los diferentes tipos de edificaciones terciarias tenidas en cuenta por la administración de información energética de los Estados Unidos.

Tabla 1. Descripción de los tipos de edificaciones terciarias (U.S Energy Information Administration, 2016).

<b>Tipo de edificio</b>	<b>Definición</b>	<b>Subcategorías</b>
Educativo	Edificación utilizada para la instrucción académica o técnica en salones de clase. Algunos edificios que también componen los campus educativos y que su uso no está dado como salón de clase deben incluirse en la categoría respectiva (edificios administrativos, alojamientos, entre otros).	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Escuela primaria o secundaria</li> <li>✓ Prescolar o guardería</li> <li>✓ Colegio o universidad</li> <li>✓ Educación para adultos</li> <li>✓ Educación religiosa</li> </ul>
Venta de alimentos	Edificios utilizados para la venta de alimentos al por mayor o al por menor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Supermercado o mercado de alimentos.</li> <li>✓ Tienda de conveniencia.</li> </ul>
Servicio de alimentos	Edificios utilizados para la preparación de alimentos y bebidas para su consumo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comidas rápidas.</li> <li>✓ Restaurante o cafetería</li> <li>✓ Bar.</li> <li>✓ Servicio de catering o sala de recepción.</li> <li>✓ Café, bangels o tiendas donas.</li> </ul>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tiendas de helado o yogurt congelado.</li> </ul>
Salud (pacientes hospitalizados)	Edificios utilizados para diagnóstico y tratamiento de pacientes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Hospitales.</li> <li>✓ Rehabilitación de pacientes.</li> </ul>
Salud (Pacientes ambulatorios)	Edificios utilizados como medio de diagnóstico y tratamiento para la atención ambulatoria. Aquí pueden incluirse las oficinas médicas en el caso de que se utilice cualquier dispositivo para el diagnóstico, sino se clasificarían como edificios de oficinas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Oficinas médicas con las características mencionadas en la anterior columna.</li> <li>✓ Clínica u otros cuidados de la salud ambulatoria.</li> <li>✓ Rehabilitación ambulatoria.</li> <li>✓ Edificios veterinarios.</li> </ul>
Alojamiento	Edificios utilizados para ofrecer múltiples comodidades tanto a corto como largo plazo a residentes. Este tipo de edificios incluyen enfermería especializada y otros de atención especial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Moteles u hoteles</li> <li>✓ Dormitorio, fraternidad, hermandad o casa de retiro</li> <li>✓ Anciantos, conventos o monasterios.</li> <li>✓ Refugio, orfandad, rehabilitación.</li> </ul>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Mercantil (minoristas que no son centro comercial)	Edificios utilizados para la venta y exhibición de productos distintos de los alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tienda al por menor de licores</li> <li>✓ Concesionarios o salas de exposición de vehículos y embarcaciones.</li> <li>✓ Estudios o galerías</li> </ul>
Mercantil (cerrados y cadenas comerciales)	Centros comerciales compuestos por múltiples establecimientos conectados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Centros comerciales cerrados.</li> </ul>
Oficinas	Edificios utilizados para espacios de oficina en general, profesionales o administrativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Oficinas administrativas o profesionales, gubernamentales o mixtas.</li> <li>✓ Bancos, instituciones financieras o ventas.</li> <li>✓ Oficinas de construcción.</li> <li>✓ Centros de llamadas.</li> </ul>
Públicos	Edificios en los que las personas se reúnen para actividades sociales o recreativas. Estas actividades pueden desarrollarse en salas de reuniones privadas o no.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sociales o de reuniones (centros comunitarios, salas de reuniones, etc.)</li> <li>✓ Recreación (Gimnasios, club de salud, boleras, deportes interiores)</li> <li>✓ Entretenimiento o cultura (museo, teatros, cine, campos de deporte, casino, discotecas).</li> <li>✓ Librerías</li> <li>✓ Casas funerarias</li> <li>✓ Salas de exhibición</li> </ul>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

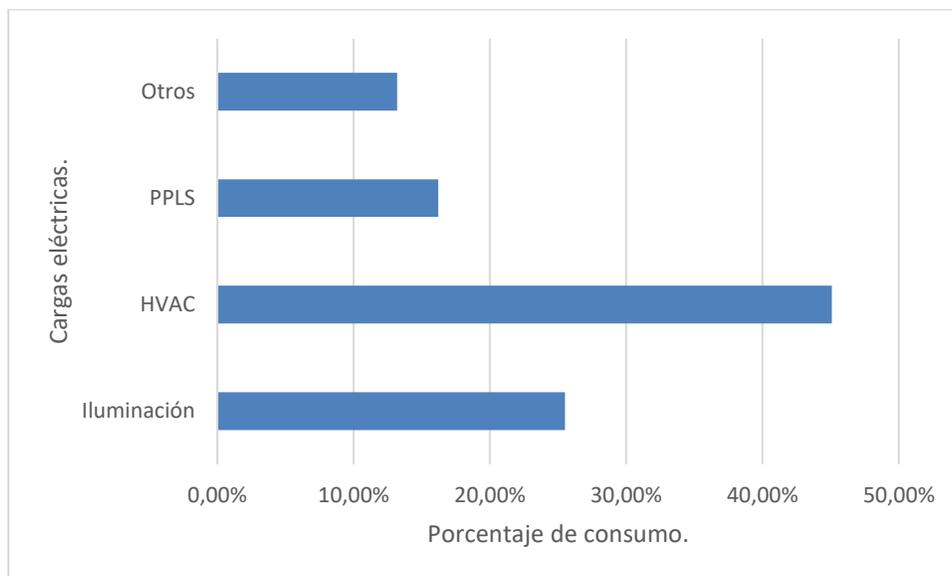
		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estudios de radiodifusión</li> <li>✓ Terminales de transporte</li> </ul>
Orden público y seguridad	Edificios utilizados para la preservación de la ley y el orden o la seguridad pública.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estaciones de policía o bomberos</li> <li>✓ Cárceles, reformatorios o penitenciarías.</li> <li>✓ Oficinas de juzgado</li> </ul>
Culto religioso	Edificios en los que las personas se reúnen para cultos religiosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capillas</li> <li>✓ Iglesias</li> <li>✓ Mezquitas</li> <li>✓ Sinagogas</li> <li>✓ Templos</li> </ul>
Servicio	Edificios en los que se provee algún tipo de servicio diferente a las comidas o venta al detal de bienes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Servicio de taller o reparación de vehículos</li> <li>✓ Parqueaderos</li> <li>✓ Taller de reparaciones</li> <li>✓ Tintorería y lavandería</li> <li>✓ Oficina o centro de correos</li> <li>✓ Lavado de automóviles</li> <li>✓ Bombas de combustible</li> <li>✓ Tienda de revelado de fotos</li> <li>✓ Salones de belleza y peluquería</li> <li>✓ Salones de bronceado</li> <li>✓ Centro de copiado o imprenta</li> <li>✓ Perreras</li> </ul>
Almacenes y depósitos	Edificios utilizados para el almacenamiento de bienes, productos manufacturados, materias	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Almacenes refrigerados</li> <li>✓ Almacenes no refrigerados</li> <li>✓ Centros de distribución o envío</li> </ul>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	primas, o las pertenencias del personal.	
--	--	--

## 2.2. CARGAS ELÉCTRICAS EN EDIFICACIONES TERCIARIAS.

Los edificios terciarios son responsables de consumir alrededor del 40% de la energía generada en el mundo, por lo cual una reducción en dicho consumo sería altamente beneficioso para nuestro planeta, que se ha visto fuertemente afectado por las emisiones de efecto invernadero, debido al uso de energías no renovables. Los edificios terciarios tienen el consumo de energía centralizado, lo que quiere decir que está destinado a cargas específicas, siendo agrupadas en tres diferentes sistemas: Sistemas de iluminación, sistemas HVAC, de sus siglas en inglés (Heating, Ventilation and air conditioning) y los sistemas por cargas de enchufe y procesamiento. En la figura 1, se muestran sectorizados los porcentajes de consumo energético en un edificio terciario promedio. (Regnier & Martinez, 2015).



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 1. Porcentajes de consumo energético en un edificio terciario promedio (Regnier & Martinez, 2015).

Es preciso definir cada una de las cargas y factores relacionados frente al consumo de energía eléctrica en una edificación terciaria, se requiere una descripción superficial de las cargas HVAC y cargas de enchufe, con el fin de que el usuario disponga de bases para actuar ante posibles mejoras energéticas en aprovechamiento de los equipos, asesorándose con personal técnico calificado. Este proyecto se enfoca en las cargas de iluminación, se proporcionarán conceptos detallados y fundamentales para las prácticas de ahorro.

### **2.2.1. SISTEMAS HVAC.**

Un sistema HVAC, se define como el conjunto de elementos que permite la manipulación de la temperatura del agua y de un espacio condicionado con el fin de garantizar y maximizar el confort térmico, este no solo depende de la temperatura del ambiente, también afectan otros factores como la humedad, velocidad del aire, estado de la envolvente y el tipo de actividad realizada (Turner, 2007).

El propósito de este sistema es mantener los valores requeridos de temperatura mediante un flujo de aire el cual es tratado dependiendo de la variable a controlar y el tipo de equipo que realice el proceso. Según estudios realizados en estados unidos el 50% del consumo de energía se le atribuye a sistemas HVAC (Hong et al., 2015).

Los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, se dividen dependiendo del trabajo a realizar y el funcionamiento de los equipos, tales como (Kissell, 2008).

- Sistemas de todo aire.
- Sistemas de toda agua.
- Sistemas de aire-agua.
- Sistema todo refrigerante.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **2.2.2. CARGAS DE ENCHUFE Y PROCESAMIENTO (PPLs).**

Las PPLs, por sus siglas en inglés (plug and process charging) son todos los dispositivos de consumo de energía no pertenecientes a los sistemas de iluminación y HVAC que se conectan al sistema eléctrico de un edificio. Los dispositivos electrónicos están evolucionando rápidamente, Se han ido los días en que un equipo era simplemente "encendido" o "apagado". Muchos dispositivos nuevos han sido diseñados para permitir un uso reducido de electricidad, de modo que los dispositivos de conmutación de mayor potencia pasen a potencia más bajas, ahorrando energía. La mejor manera de ahorrar energía es asegurarse de que los dispositivos estén apagados o desconectados cuando no estén en uso durante períodos prolongados o al final del día. En cualquier edificio hay multitud de dispositivos PPLs y sistemas que funcionan gracias a la energía eléctrica que consumen. La cantidad de energía consumida por estos aparatos está determinada por dos magnitudes (New Buildings Institute, 2012):

- La potencia eléctrica del aparato. Los hornos, radiadores, planchas y aparatos de aire acondicionado tienen una potencia elevada. Los aparatos electrónicos tienen una potencia reducida.
- El tiempo que permanece funcionando. Doble tiempo implica doble consumo.

### **2.2.3. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.**

Un sistema de iluminación es una serie de elementos ubicados estratégicamente para proveer una clara visibilidad en un área determinada, la ubicación y diseño de este tipo de sistemas está basado en el tipo de tarea que el usuario vaya a realizar y los aspectos estéticos requeridos; se resalta la importancia de seleccionar los mejores componentes y un adecuado acondicionamiento del entorno. Estos sistemas son los responsables de un gran porcentaje dentro de la matriz de consumo energético de las edificaciones terciarias, en la tabla 2 se muestran los porcentajes de consumo de energía eléctrica dedicada a la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

iluminación (Ing. Ramírez et al., 2014). A continuación, se describen los aspectos básicos de los sistemas de iluminación:

TABLA 2. Porcentajes de energía eléctrica dedicada a iluminación en edificaciones terciarias (Ing. Ramírez et al., 2014).

SECTOR.	% DE ENERGÍA ELECTRICA DEDICADA A ILUMINACIÓN.
Oficinas.	50%
Hospitales	20-30%
Industria.	15%
Colegios.	10-15%
Comercios.	15-70%
Hoteles.	25-50%
Residencial.	10-15%

La luz se define como una onda de radiación electromagnética con características específicas, que puede ser percibida por el sentido de la vista humana. Dichas características están relacionadas con la longitud de onda de las radiaciones, siendo el rango respectivo para el espectro visible entre los 400-700 nm (Tilley, 2010). Para estudiar el comportamiento de la luz y los sistemas asociados a ella (sistemas de iluminación), se han definido las magnitudes y unidades fundamentales de la fotometría (se encarga de medir la intensidad de la luz), las cuales se enuncian y describen en la tabla 3.

Tabla 3. Magnitudes y unidades fundamentales de fotometría (Tilley, 2010).

Magnitud	Definición	Unidad	Fórmula
<i>Flujo luminoso</i>	Cantidad de energía lumínica por unidad de tiempo (potencia) que es emitida por una fuente luminica en todas las	<i>Lumen (lm):</i> Flujo luminoso emitido por un foco puntual de 1 candela en un ángulo de 1 esterorradián.	$\Phi = \frac{Q (lm * s)}{t (s)}$ Donde: $\Phi$ : Flujo luminoso

	direcciones y que puede ser percibida.		$Q$ : Energía lumínica $t$ : Tiempo
<i>Intensidad luminosa</i>	Intensidad de flujo luminoso proyectado en una dirección determinada y contenida en un ángulo sólido.	<i>Candela (cd)</i> : Intensidad luminosa emitida por una fuente puntual de 1 lumen en un ángulo sólido de 1 esterrradián.	$cd = \frac{\Phi \text{ (lm)}}{sr}$ Donde: cd: Intensidad luminosa $\Phi$ : Flujo luminoso sr: Angulo sólido
<i>Iluminancia</i>	Cantidad de flujo luminoso que se emite sobre una superficie.	Lux (lux): Iluminación que recibe una superficie de un metro cuadrado	$E = \frac{\Phi \text{ (lm)}}{s \text{ (m}^2\text{)}}$ Donde: E: Iluminancia $\Phi$ : Flujo luminoso S: Área de incidencia
<i>Luminancia</i>	Intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie. Se tienen en cuenta, tanto si procede de una fuente primaria que genera luz, o de una secundaria que la refleja.	cd/m <sup>2</sup> (L): Intensidad luminosa de 1 candela por metro cuadrado.	$L = \frac{I \text{ (cd)}}{S \cos\theta \text{ (m}^2\text{)}}$ Donde: L: Luminancia S: Superficie $\theta$ : Angulo de la línea de visión.
<i>Eficacia luminosa</i>	Es la relación entre el flujo luminoso emitido	Lm/w: Cantidad de lúmenes emitidos por la	$\eta = \frac{\Phi \text{ (lm)}}{P \text{ (watt)}}$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	por una fuente y la potencia que se le aporta.	fuente luminica con respecto a los vatios recibidos.	Donde: $\eta$ : Eficacia luminosa $\phi$ : Flujo luminoso P: Potencia
--	--	--	--

### 2.3. ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO.

Las estrategias de ahorro energético son planteamientos de actividades encaminadas a optimizar, analizar, y relacionar los consumos de energía eléctrica, mediante la medición de parámetros e interpretación de variables (Nicolas, 2012). Las estrategias de ahorro energético tienen principalmente dos objetivos:

1. Disminuir los gastos de energía por cuestiones económicas directas.
2. Cumplir con reglamentos y leyes relacionadas al medioambiente.

A continuación, se presentan los pasos a seguir para aplicar una estrategia de ahorro:

- **Identificar:** el primer paso es identificar cuáles son los equipos que demandan el mayor consumo de energía, basándose ya sea en la experiencia adquirida o su conocimiento, donde su control nos puede brindar mayor beneficio en la aplicación de estrategias energéticas.
- **cómo y qué medir:** una vez identificados los equipos con mayor potencial para la implementación de la estrategia de eficiencia energética es necesario determinar cómo vamos a extraer la información de consumo y operación de los mismos. Este punto va a depender del tipo y tecnología de los equipos de nuestros edificios.
- **Determinar parámetros de rendimiento y riesgo:** los datos extraídos de los equipos seguirán siendo sólo datos sino establecemos las pautas y parámetros contra los cuales serán contrastados. Por lo cual es necesario contar con una base de datos

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que nos permita comparar los datos provenientes del monitoreo en línea con los datos de diseño y operación de los equipos.

- **Ejecutar:** cuando ya se hayan realizado los tres pasos anteriormente mencionados, debe iniciarse con la tarea de mejorar la eficiencia energética. El monitoreo de los equipos es fundamental para la toma de decisiones y acciones que forman parte de los procesos de mejora. Herramientas como indicadores clave de rendimiento, alertas, gráficos de tendencia nos ayudarán a tomar decisiones en pos de disminuir el consumo de energía de nuestros edificios.
- **Mejora continua:** a partir de la ejecución de la estrategia y a medida que vayamos conociendo más en detalle el comportamiento de nuestros equipos estaremos en condiciones de ir replanteando lo definido en los pasos de configuración e implementación.
- **Obtención de resultados:** A partir de la correcta ejecución de los 5 pasos anteriores, nuestra organización estará en condiciones de lograr los objetivos planteados a través de distintas acciones, entre las cuales podemos destacar:
  - ✓ Ajustar la política de mantenimiento preventivo
  - ✓ Optimizar del inventario de repuestos, reemplazar los activos en el momento correcto, evitar paradas no programadas que afecten a la operación.
  - ✓ Comparar el rendimiento de equipos y repuestos.
  - ✓ Incorporar el consumo energético dentro de nuestra política de adquisición de nuevos activos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

El desarrollo de esta investigación abarcó inicialmente la recopilación y análisis de información técnica relacionada con los sistemas de iluminación en edificaciones terciarias, estableciendo como criterio de selección documentos de máximo 10 años de antigüedad respecto al 2017. Con base en la información recolectada, se definieron aspectos como las edificaciones terciarias y las cargas eléctricas de mayor relevancia, comparando el impacto presentado por los sistemas de iluminación. De igual forma, se describieron con base en los aspectos operativos, las variables y parámetros involucrados en el consumo energético. Además, identificaron los principales componentes de los sistemas de iluminación y se investigaron sus características técnicas, permitiendo determinar cuáles son los sistemas más eficientes y su aplicación de acuerdo a las condiciones del entorno. También se tuvo en cuenta la información procedente de las normativas aplicables a los sistemas de iluminación, determinando con ello las regulaciones y restricciones asociadas a las variables y parámetros identificados.

Para la identificación de las estrategias de reducción de consumo energético y ahorros económicos se seleccionaron casos de estudio procedentes también de la información recopilada previamente, los cuales fueron descritos y tabulados a detalle. Así mismo, los criterios de análisis de las estrategias identificadas se focalizaron en las variables y parámetros ya mencionados. También se tuvieron en cuenta los porcentajes de ahorro energético y económico involucrados en la aplicación de cada estrategia, con el fin de valorar cuantitativamente su impacto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Esta sección presenta los componentes, variables y reglamentación que atañen a los sistemas de iluminación. Además, se analizan estrategias de ahorro aplicadas a edificaciones terciarias, las cuales demuestran la importancia y el amplio rango de ejecución en posibles mejoras que aumentan nuestro confort visual teniendo en cuenta pequeños factores.

### 4.1. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES TERCIARIAS.

A continuación, se darán a conocer cada uno de los componentes implicados en un sistema de iluminación, con el fin de identificar y describir sus características técnicas y así seleccionarlos de la mejor manera de acuerdo su rango de aplicación.

#### 4.1.1. COMPONENTES.

##### LUMINARIAS, FUENTES LUMINOSAS Y DISPOSITIVOS DE CONTROL.

Todo proyecto de iluminación debe garantizar una excelente eficacia lumínica, para lograr este objetivo se deben elegir todos los componentes implicados en el sistema con base en su eficiencia, así como los parámetros y variables que forman parte de un sistema de iluminación y su entorno; todo esto afín con las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

##### 4.1.1.1. LÁMPARA.

Se encargan de transformar la energía eléctrica en luminosa. Dependiendo de las necesidades que se utilizan en los diferentes tipos de edificaciones se utilizan lámparas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

incandescentes, halógenas, fluorescentes, de descarga de alta intensidad y de estado sólido (IDAE, 2001).

## **CLASIFICACIÓN DE LAS LÁMPARAS.**

### **LÁMPARAS INCANDESCENTES:**

En esta fuente luminosa, la luz se produce por calentamiento de un alambre o filamento que alcanza la incandescencia debido a la circulación de corriente a través de él, este filamento está construido generalmente de tungsteno, el filamento se encuentra en el interior de la lámpara para evitar su oxidación, a potencias bajas la lámpara se encuentra al vacío (no halógenas), mientras que a potencias más elevadas está rellena de nitrógeno o un gas noble (halógenas). A continuación se presentan sus ventajas y desventajas (Campos, 2011).

#### *VENTAJAS.*

- Encendido inmediato, sin que se requiera un equipo auxiliar.
- Rendimiento cromático óptimo.
- Factor de potencia unitario.
- El flujo emitido puede regularse mediante equipos electrónicos adecuados, conservando una elevada eficacia (aprox. 65%).

#### *DESVENTAJAS.*

- Su eficiencia luminosa es baja.
- Baja vida útil, lo que da lugar a frecuentes intervenciones para sustituirlas.
- Alta sensibilidad a la variación de tensión.

De acuerdo con el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), las bombillas incandescentes tienen restringida su utilización en sistemas de iluminación, su comercialización y uso fue permitida hasta el 2013. La vida útil de estas bombillas o lámparas no podrá ser menor de mil horas. (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **LÁMPARAS HALÓGENAS DE ALTA Y BAJA PRESIÓN.**

Difieren en las lámparas incandescentes normales, debido a que se adiciona un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo) que consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento de la lámpara.

#### *VENTAJAS*

- vida media superior, debido tanto a la menor evaporación del tungsteno, como a la reposición sobre el filamento del tungsteno evaporado.
- Factor de conservación del flujo más elevado, debido a la acción limpiadora que el yodo lleva a cabo en la pared de la ampolla.
- Dimensiones mucho más reducidas.
- Al igual que las lámparas incandescentes normales, su flujo puede regularse mediante dispositivos atenuadores.

#### *DESVENTAJAS.*

- Elevada luminancia
- Riesgo de desvitricación de la ampolla si es tocada por manos o utillajes que lleven sustancias ácidas o grasas.
- Elevadas temperaturas que pueden alcanzarse en la superficie exterior (500°C) (Campos, 2011).

### **LAMPARAS DE DESCARGA.**

Con las lámparas de descarga se consigue producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. Por eso su uso está tan extendido hoy en día. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido, tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

#### *CARACTERÍSTICAS DE DURACIÓN.*

Hay tres aspectos básicos que afectan a la duración de las lámparas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- La depreciación del flujo: Este se produce por el ennegrecimiento de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos.
- En aquellas lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor es la pérdida gradual de la eficacia de estas sustancias.
- El deterioro de los componentes de la lámpara, debido a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre.

#### *FACTORES EXTERNOS QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO*

Los factores externos que más influyen en el funcionamiento de la lámpara son la temperatura ambiente y la influencia del número de encendidos. Las lámparas de descarga son, en general, sensibles a las temperaturas exteriores; dependiendo de sus características de construcción (tubo desnudo, ampolla exterior...) se verán más o menos afectadas. Las lámparas a alta presión, por ejemplo, son sensibles a las bajas temperaturas, ocasionando problemas de arranque. La influencia del número de encendidos es muy importante para establecer la duración de una lámpara de descarga ya que el deterioro de la sustancia emisora de los electrodos depende en gran medida de este factor (Donell, Sandoval, & Paukste, 2002).

#### **LAMPARAS FLUORESCENTES.**

Se componen de un tubo de vidrio que contiene una pequeña cantidad de mercurio y de gas argón. Tienen un mayor rendimiento que las lámparas incandescentes, pero son más caras y requieren un equipo complementario llamado balasto, el cual se encarga de limitar la corriente. Las lámparas fluorescentes se construyen con bulbos tubulares rectos, cuyo diámetro varía de acuerdo a sus características técnicas. La letra de la designación indica la forma del bulbo. En este caso, T por tubular; también puede ser C por circular o U indicando que el bulbo ha sido doblado sobre sí mismo. También existen lámparas de menor diámetro, de extremo único, de dos, cuatro o seis tubos paralelos, formadas por bulbos en forma de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

U, conectados por pequeños tubos en sus extremos, conocidas como lámparas fluorescentes compactas (Atienza, 2013).

*EFICACIA LUMINOSA:*

La eficacia de una lámpara fluorescente depende de un gran número de factores: potencia, dimensiones, construcción del electrodo, tipo y presión del gas, propiedades de la capa fósforo, tensión de suministro y temperatura del ambiente. Por ejemplo, a medida que se incrementa el diámetro del tubo de descarga, crece la eficacia de la lámpara hasta alcanzar un máximo; la longitud del tubo también influye sobre la eficacia, de modo que, cuanto mayor es la longitud, más alta es la eficacia. La eficacia luminosa está influenciada por la distribución espectral de la luz, cuanto más elevada es la proporción de radiación en aquellas bandas de energía a las que el sistema visual humano es más sensible, mejor será su eficacia. El flujo luminoso de la lámpara fluorescente decrece con el tiempo acumulado de operación, debido a la degradación fotoquímica (Atienza, 2013).

**LAMPARAS DE INDUCCION.**

Las lámparas de inducción son en esencia lámparas fluorescentes, pero sin electrodos. Tienen una alta eficacia, son de encendido y apagado instantáneo, buen rendimiento de color y larga vida útil. Estas lámparas ofrecen ventajas tales como ahorro de energía y ahorro en gastos por mantenimiento, su utilización es principalmente en lugares donde se emplean las lámparas de aditivos metálicos o de vapor de sodio a alta presión. Su encendido instantáneo y su tiempo de vida hacen que sean confiables y fáciles de controlar por sensores de movimiento (Ing. Ramírez et al., 2014).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO.**

Se conoce con esta denominación un tipo de lámparas de descarga en el que la producción de luz se efectúa como consecuencia de la excitación de átomos de sodio contenidos en el tubo de descarga.

### **LAMPARA DE HALOGENUROS METALICOS.**

Las lámparas de halogenuros metálicos es otra variedad de las lámparas de vapor de mercurio. En el interior del tubo de descarga se añaden aditivos metálicos para potenciar determinadas zonas de espectro visible de modo que aumenta su rendimiento, tanto luminoso como de color. La composición espectral de estas lámparas es muy completa y se puede adaptar a las necesidades del usuario porque depende de la composición de los metales añadidos.

#### *EFICACIA LUMINOSA:*

La eficacia de estas lámparas es bastante mayor que las de mercurio de alta presión, comercialmente pueden obtenerse lámparas con eficacia de 80 a 108 lm/W, dependiendo de la potencia, sin incluir las pérdidas en el balasto. (Donell et al., 2002).

### **LAMPARA LED.**

La sigla LED se debe a la expresión (Light Emitting Diode) o, en español, diodo emisor de luz. Los diodos tienen la particularidad que conducen la corriente eléctrica más fácilmente en un sentido que en otro, se ha logrado que la aplicación de diversos tipos de lámparas hechas a base de LEDs; se disponen dentro de un bulbo para tener un equivalente a las lámparas existentes y con temperaturas de color mayores a los 3000 K. (Superior, Carlos, & Prada, 2011).

#### *VENTAJAS:*

La implementación de esta tecnología trae múltiples ventajas (“Sistemas De Iluminación,” n.d.):

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Bajo consumo: Una lámpara LED requiere menor potencia para producir la misma cantidad de luz. Ahorro energético de hasta el 88%.
- Baja tensión: Generalmente se alimentan a 24V de corriente continua, adaptándose perfectamente a la mayoría de las fuentes de alimentación de los equipos, y reduciendo al mínimo los posibles riesgos de electrocución.
- Baja temperatura: Por su alto rendimiento, el LED emite poco calor.
- Sin fallas de iluminación: Absorbe las posibles vibraciones a las que pueda estar sometido el equipo sin producir fallos ni variaciones de iluminación. Esto es debido a que el LED carece de filamento luminiscente evitando de esta manera las variaciones de luminosidad del mismo y su posible rotura.
- Pueden emitir hasta 16 millones de colores distintos.
- No emiten radiaciones infrarrojas y/o ultravioletas.
- No explotan.
- Muy adecuado para aplicaciones en zonas con elevada afluencia de público: centros comerciales, discotecas, teatros...
- No contaminan ni poseen elementos contaminantes.
- Mayor duración: La vida de un LED es muy larga en comparación con los demás sistemas de iluminación.

### **INCIDENCIA DE LA TENSIÓN DEL SUMINISTRO SOBRE EL ALUMBRADO ARTIFICIAL.**

Todas las lámparas se ven afectadas, en su eficacia y en el flujo emitido, por la tensión de suministro de la energía eléctrica. Por ejemplo, una lámpara de incandescencia sub tensionada un 10% emite el 70% de su flujo luminoso inicial, reduciéndose su eficacia al 80%. La sección del conductor influye en la caída de tensión que se ocasiona a lo largo de un circuito; si se tiene unas dimensiones inadecuadas, la tensión del suministro eléctrico a las lámparas o accesorios podrá ser tan baja que resulte inadmisibles desde el punto de vista económico, dada su incidencia negativa sobre la eficacia de las fuentes de luz. (Campos, 2011).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### **4.1.1.2. LUMINARIAS.**

Es el dispositivo que sirve para repartir, filtrar o transformar la luz de las lámparas, y que incluye todas las piezas necesarias para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación. Con las componentes ópticas de las luminarias se trata de disminuir la luminosidad (luminancia) de las lámparas y de redistribuir la luz de forma más conveniente para la iluminación deseada, conservando un elevado rendimiento luminoso. (Assaf, Colombo, & O'Donell, 2006).

#### **FUNCIONES DE UNA LUMINARIA.**

- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
- Evitar toda causa de molestia provocada por deslumbramiento o brillo excesivo.
- Satisfacer las necesidades estéticas y de ambientación del espacio al que están destinadas.
- Optimizar el rendimiento energético, aprovechando la mayor cantidad de flujo luminoso entregado por las lámparas.

#### **ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UNA LUMINARIA.**

- Montaje seguro y sencillo para la instalación eléctrica y el mantenimiento.
- Protección del usuario contra descargas eléctricas.
- Efectos térmicos producidos por el confinamiento de la lámpara y los equipos auxiliares.
- Interferencia electromagnética y radiofrecuencia provocada por las fuentes y los equipos auxiliares.
- Alojamiento de los equipos auxiliares: debe disponer el espacio suficiente para los componentes y poseer los accesorios de fijación necesarios, brindando los medios de seguridad adecuados para un correcto funcionamiento.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### **4.1.1.3. BALASTROS.**

El balastro es el componente que limita el consumo de corriente de la lámpara a sus parámetros óptimos; cuando el balastro es electromagnético comúnmente se le conoce como reactancia, ya que es frecuente el uso de inductancias como dispositivo de estabilización. El balastro asociado a la lámpara o lámparas, deben proporcionar a éstas los parámetros de trabajo dentro de los límites de funcionamiento establecidos en las normas y con las menores pérdidas de energía posibles (IDAE, 2001). En el mercado se encuentran disponibles diferentes tipos de balastros de acuerdo a su aplicación, eficiencia y tipo de lámpara al que será conectado, tales como:

- Balastros para lámparas fluorescentes.
- Balastros electromagnéticos, (estándar y de alta eficiencia).
- Balastros híbridos.
- Balastros electrónicos.

#### **4.1.1.4. DISPOSITIVOS DE CONTROL:**

El control de los sistemas de iluminación es de gran importancia, permiten abrir o cerrar los circuitos y regular el flujo luminoso en las lámparas. La instalación de controles para iluminación es la forma más efectiva de ahorrar energía, debido a que se utiliza el sistema de iluminación solo cuando sea necesario. Existe una gran variedad de formas, tipos y aplicaciones para los controles de iluminación, sin embargo todos estos controles pueden ser agrupados en los siguientes tipos (Ing. Ramírez et al., 2014):

- Atenuadores o reguladores de flujo luminoso (dimmers): se usan para controlar la salida de luz de las lámparas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Temporizadores (Timers): reducen el consumo de energía poniendo límites de tiempo donde es posible establecer horarios definidos, ya sea para encender o apagar las lámparas en horarios.
- Sensores de presencia: proporcionan un control local de encendido-apagado de las lámparas en respuesta a la presencia o ausencia de ocupantes en un espacio. Las lámparas son apagadas después que el espacio es desocupado dentro de un periodo de tiempo predeterminado.
- Foto sensores: son dispositivos fotoeléctricos que permiten a un sistema de iluminación responder a cambios en el nivel de iluminación del entorno, son muy utilizados en iluminación exterior.

#### **4.2. PARAMETROS, VARIABLES Y TÉCNICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO ENERGETICO EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.**

En todos los proyectos de iluminación, se deben elegir las luminarias y fuentes luminosas teniendo en cuenta la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil, tipo y características de la luminaria; donde se analizan las variables involucradas tales como corriente, voltaje y potencia. Todo esto acorde con las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como de consideraciones arquitectónicas, ambientales y económicas.

##### **4.2.1. PARAMETROS.**

A continuación, se presentan los diferentes parámetros que influyen en el diseño de los sistemas de iluminación.

##### **4.2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE LUZ.**

###### *COLOR DE LA LUZ:*

Es la tonalidad de matiz característica de la fuente de iluminación, teniendo una gran influencia para actividades que requieren una distinción apropiada de los colores o

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

despertar diferentes comportamientos en los usuarios. El color de la luz es una consecuencia de la distribución espectral, es decir, de la cantidad de energía que emiten para cada una de las longitudes de onda del espectro visible. Una forma de descubrir una fuente luminosa es indicar qué temperatura de color tiene. Así, por ejemplo, si indicamos que cierta lámpara tiene una temperatura de color de 500°K, queremos decir que emite el mismo tono de luz que emitiría un cuerpo negro calentado a esa temperatura. Se expresa en grados Kelvin y da información sobre las tonalidades de la luz. (Conejo, 2007). Existe una graduación de los colores en función de su temperatura de color:

- Colores fríos: Colores verde, azul y violeta. Sus temperaturas de color están por encima de 5000° K.
- Colores intermedios: Colores como el amarillo y algunas tonalidades del verde. Temperaturas de color entre 3300° K y 5000° K.
- Colores cálidos: Colores como rojo y naranja. La temperatura de color es inferior a los 3300° K. (“Sistemas De Iluminación,” n.d.).

**INDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA:**

El índice de reproducción cromática es la capacidad que presenta una fuente luminosa de permitir una buena apreciación de los colores sobre el objeto iluminado. Se representa con las letras Ra. (Conejo, 2007). La tabla 4 muestra la clasificación de los índices de reproducción cromática.

Tabla 4. Índices de reproducción cromática (Conejo, 2007).

GRADO	INDICE Ra	NIVEL DE REPRODUCCIÓN
1ª	90 a 100	Excelente
1B	80 a 89	Muy bueno
2ª	70 a 79	Bueno
2B	60 a 69	Moderado
3	40 a 59	Regular
4	Inferior a 40	Bajo

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**REFLECTANCIA:**

La reflectancia es la relación entre la luz reflejada y la luz que se recibe (luz incidente), y es un indicador del grado de brillantez de la superficie. Al aumentar la reflectancia se aumenta la eficiencia del sistema de iluminación. (“Sistemas De Iluminación,” n.d.). La tabla 5 muestra los valores de reflectancia para superficies pintadas.

Tabla 5. Porcentajes de reflectancia a superficies pintadas (“Sistemas De Iluminación,” n.d.).

Color	Claro	Medio	Oscuro
Amarillo	0,7	0,5	0,3
Beige	0,65	0,45	0,25
Marrón	0,5	0,25	0,08
Rojo	0,35	0,2	0,1
Verde	0,6	0,3	0,12
Azul	0,5	0,2	0,05
Gris	0,6	0,35	0,2
Blanco	0,8	0,7	----
Negro		0,04	----

En un proyecto de iluminación se deben conocer los requerimientos de luz para los usos que se pretendan, para lo cual se debe tener en cuenta los niveles óptimos de iluminación requeridos en la tarea a desarrollar, las condiciones visuales de quien las desarrolla, el tiempo de permanencia y los fines específicos que se pretendan con la iluminación. Igualmente, el proyecto debe considerar el tipo de luz y los aportes de luz de otras fuentes distintas a las que se pretenden instalar y el menor uso de energía sin deteriorar los requerimientos de iluminación (Campos, 2011).

**4.2.2. VARIABLES.**

En el campo de la iluminación existen ciertas variables que relacionan el consumo de energía en una instalación eléctrica, tales como:

**CORRIENTE:**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La corriente eléctrica es un conjunto de cargas eléctricas, en concreto electrones, que se mueven a través de un conductor. Para que este movimiento se produzca es necesario que entre los dos extremos del conductor exista una diferencia de potencial eléctrico. Existen dos tipos de corriente eléctrica. Se denomina intensidad eléctrica a la cantidad de carga que atraviesa una sección de un conductor en la unidad de tiempo. Se representa mediante la letra *I*. La unidad de intensidad eléctrica es el Amperio (en honor al físico francés André Marie Ampère), la ecuación 1 presenta el cálculo de la corriente eléctrica (Fox, 1883).

$$I = \frac{P}{V} \quad (1)$$

*CORRIENTE CONTINUA:*

Los electrones se desplazan siempre en el mismo sentido, del punto de mayor potencial (polo negativo) al de menor potencial (polo positivo), sin variación de su polaridad en el tiempo.

*CORRIENTE ALTERNA:*

Corriente eléctrica variable en la que las cargas eléctricas cambian el sentido polaridad de manera periódica, alternando de positivo a negativo.

*TENSIÓN:*

Se denomina diferencia de potencial a la diferencia en el nivel de carga que existe entre los extremos de un conductor, de tal manera que se puede producir un flujo de electrones desde el extremo que tiene mayor carga negativa hasta el de menor carga. Se representa mediante la letra *V*. La unidad de diferencia de potencial es el voltio (en honor al físico italiano Alejandro Volta), la ecuación 2 presenta el cálculo de la diferencia de potencial (Fox, 1883).

$$V = I * R \quad (2)$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*POTENCIA:*

Se denomina potencia eléctrica a la cantidad de energía generada o consumida por un aparato en un instante de tiempo de tiempo. Se representa mediante la letra P. La unidad de potencia eléctrica es el vatio (en honor al ingeniero británico James Watt), la ecuación 3 presenta el cálculo de la potencia eléctrica (Fox, 1883).

$$P = V \times I \quad (3)$$

**4.3. ESTADO Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.**

El objetivo de esta evaluación es identificar todas las posibles medidas de ahorro de energía en dicho sistema, y analizar la implementación de las medidas de ahorro de acuerdo al estado energético, a continuación se muestran una serie de pasos para lograr este objetivo (Campos, 2011).

- **PLANEAR LOS RECURSOS Y EL TIEMPO.**

Inicialmente se debe verificar que todos los instrumentos y material de apoyo que se vaya a utilizar se encuentren en buen estado, tanto en su funcionamiento como en su calibración. Debe elaborarse un cronograma de trabajo y recopilar información disponible sobre el sistema de iluminación a analizar.

- **RECOPILAR DATOS EN EL SITIO.**

Se hace un reconocimiento general del toda el área y sistema. Para lo cual se debe:

- Establecer horarios de trabajo. (Factor de ocupación)
- Características físicas de la instalación. (Color de las paredes, color del piso, iluminación natural, ubicación de las luminarias, área de trabajo).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Características de las lámparas, luminarias y equipo auxiliar. (Potencia, tipo de lámpara, lúmenes, etc).

- **REALIZAR MEDICIONES.**

Esta etapa es de vital importancia para definir el estado energético del sistema de iluminación, Debe determinarse los niveles reales de iluminación que se tienen por área, al igual que el consumo de energía y el estado de operación de cada uno de los componentes. Todos estos datos deben registrarse para luego ser analizados.

- **ANALIZAR LOS DATOS.**

Una vez realizadas las mediciones del sistema, debe esclarecerse si el área iluminada cumple con los requisitos mínimos de iluminación para suplir el confort y la salud visual; teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Función específica de las lámparas, luminarias y accesorios.
- Niveles de iluminación requeridos en comparación con el estado real.
- Eficiencia energética de los equipos instalados.
- Función del equipo de control.

- **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO.**

Esta estimación es con base en las observaciones y mediciones realizadas, las oportunidades de disminuir el consumo de energía determinan el potencial de ahorro generalmente en porcentajes. Para determinar los potenciales de ahorro se toman en cuenta todas las variables y parámetros pertenecientes al sistema, donde se estima la sustitución de lámparas, luminarias, balastos, dispositivos de control, cambiar el color de las paredes, techo y pisos, se evalúa la disponibilidad de luz natural y así acondicionar el sistema de acuerdo a los niveles requeridos por el reglamento y por el usuario.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **LLEVAR A CABO LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS.**

Para ello se debe iniciar por determinar el volumen de la obra y el costo de implementación; y con los ahorros esperados, determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

- **ELABORACIÓN DEL INFORME DEL DIAGNÓSTICO.**

Este informe debe contener todas las observaciones y conclusiones del diagnóstico, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía y los planes de acción para implementarlas.

- **INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA.**

La instrumentación básica requerida para realizar un diagnóstico energético a un sistema de iluminación es la siguiente:

- Luxómetro.
- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Flexómetro.
- Software de simulación.

#### **4.4. NORMAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.**

##### **4.4.1. REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO (RETILAP).**

Los sistemas de iluminación están regidos bajo la autoridad del ministerio de minas y energía, el cual expide el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP) con el fin de establecer los requisitos y medidas a los que debe obedecer los sistemas de iluminación. El RETILAP exige que estos sistemas garanticen los niveles de calidad de energía lumínica necesaria para la realización de actividades cotidianas, refiriéndose al confort y salud visual, así como la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente;

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el RETILAP busca eliminar todo tipo de riesgos originados por la instalación y uso de los sistemas de iluminación.

Este reglamento promueve el uso racional y eficiente de la energía (URE), para esto señala las exigencias mínimas que debe cumplir una instalación lumínica con base en el diseño y sistema operativo (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

#### **4.4.2. REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE).**

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) establece los requisitos que garantizan la protección contra riesgos eléctricos, con el fin de salvaguardar la vida humana, animal y vegetal. Este reglamento establece los requisitos que deben cumplir los materiales, equipos e instalaciones de nuestro país. Son consideradas como instalaciones eléctricas los circuitos eléctricos con sus componentes tales como: conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico (General & Contenido, 2013). Dentro del diseño del sistema de iluminación, todos los elementos a considerar deben de cumplir con el anterior reglamento.

Dentro de esta sección se hace importante resaltar el uso racional de la energía (URE), enfatizando en sus requerimientos para aprovechar la energía eléctrica de la mejor manera en el campo de la iluminación natural y artificial.

#### **4.4.3. USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGIA EN ILUMINACIÓN (URE).**

Todos los proyectos de iluminación y alumbrado público deben incorporar y aplicar conceptos de uso racional y eficiente de energía, para conseguir una iluminación eficiente sin desatender las demandas visuales, los conceptos que se deben aplicar son los siguientes:

- Aprovechar al máximo la luz natural.
- Usar colores claros en paredes y techos permite aprovechar al máximo la luz natural y reducir el nivel de iluminación artificial.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- No dejar encendidas fuentes luminosas que no se estén utilizando.
- Limpiar periódicamente las bombillas y luminarias permite mantener la luminosidad sin aumentar la potencia.
- Instalar detectores de presencia o interruptores temporizados en zonas comunes (vestíbulos, garajes, etc.) de forma que las fuentes luminosas se apaguen y enciendan automáticamente.
- Aprovechar al máximo la luz natural mediante la instalación de foto sensores que regulen la iluminación artificial en función de la cantidad de luz natural, o independizando los circuitos de las lámparas próximas a ventanas o claraboyas.
- Elegir siempre las fuentes de luz con mayor eficacia energética en función de las necesidades de iluminación.
- Establecer circuitos independientes de iluminación para zonificar la instalación en función de sus usos y diferentes horarios. (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

#### **4.5. ESTRATEGIAS DE AHORRO APLICADAS A SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.**

Las estrategias presentadas a continuación son el principal resultado de este trabajo de investigación, es una muestra de artículos recopilados de la fuente science direct que presentan estrategias de ahorro energético en el sector terciario aplicadas a sistemas de iluminación; cada estrategia demuestra porcentajes de ahorro reales provenientes de simulaciones, mediciones y control del sistema, que fueron aplicadas en diferentes países a nivel mundial y que no solo apuestan a la reducción del consumo energético sino al confort visual de usuario. La información de estas estrategias se muestra en tablas de contenido para facilitar su comprensión y análisis conciso; estas tablas están organizadas de la siguiente manera:

- Título del estudio: nombre del artículo.
- Resumen del estudio: explica en qué consiste la estrategia y qué se quiere lograr.
- Herramientas empleadas: recursos físicos, instrumentación, ecuaciones y software utilizados para llevar a cabo el estudio.
- Técnicas – estrategias de ahorro para la carga eléctrica: en este segmento es explicada la metodología empleada y la forma en la cual se reduce los niveles de consumo eléctrico.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Clasificación de la estrategia aplicada: se explica por qué la estrategia es operativa o reconversión tecnológica.
- Variables, parámetros y escenario de prueba: se enuncian las variables involucradas y parámetros establecidos, además, se da una breve descripción del tipo de espacio de prueba usado para el estudio y/o aplicación de la estrategia.
- Descripción de los resultados obtenidos: en esta sección se enuncia el impacto cuantitativo que se obtiene al aplicar o simular la estrategia trabajada y se muestran datos justificados acerca de los beneficios de la aplicación.
- Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético: aquí se describe el ahorro energético que se puede llegar a obtener con la aplicación de la estrategia.

Tabla 6. Estrategia de ahorro 1.

<b>Título del estudio:</b> Sistemas de control de iluminación en salas de oficinas individuales de alta latitud: medidas de ahorro de electricidad y satisfacción de los ocupantes. (Gentile, Laike, & Dubois, 2016).						
<b>Resumen del estudio:</b> Este artículo presenta los resultados de un estudio de seguimiento en un entorno real, se usan cuatro oficinas unifamiliares idénticas con cuatro sistemas de control de iluminación diferentes (LCS), de sus siglas en inglés (Lighting control systems). Se contaba con un ocupante por oficina, cada ocupante realizaba sus tareas de oficina normales durante un periodo de dos semanas bajo cada LCS, para familiarizarse con el sistema e identificar sus principales fortalezas y debilidades; los sistemas de control de iluminación aplicados fueron: 1. Sistema detector de presencia (PSD) de sus siglas en inglés (Presence detector system). 2. Sistema detector de ausencia (ASD) de sus siglas en inglés (Absence detector system). 3. Sistema de luz natural (DHS) de sus siglas en inglés (Daylight system). 4. Lámpara de tareas LED (TSK) de sus siglas en inglés (Led task lamp). Los cuales son rotados en las cuatro oficinas cada dos semanas para validar el rendimiento del sistema de control en cada uno de los espacios, así como la conformidad de cada uno de los usuarios con cada sistema.						
<b>Descripción de la metodología</b>						
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada				Variables, parámetros y escenario de prueba
		Reconversión tecnológica	X	Estrategia operativa	x	
-Registrador de datos central (Campbell CR1000). - Sistema de control de iluminación con el medidor de	Los sistemas de control implementados son los siguientes:  1. Detección de presencia (PSD): Consta de un retardo de desconexión de 15 min y Lámpara de tarea LED adicional 6W. Este sistema ilumina la	Este artículo aplica tanto reconversión tecnológica como estrategias operativas, debido a que cada oficina fue equipada con un LCS diferente durante un periodo de dos semanas, una vez cumplidas las dos semanas se cambiaba de LCS, pero permanecía el mismo ocupante, el cual realizó tareas de oficina				<b>VARIABLES:</b> -Factor de ocupación (sistemas PSD & ASD). -Voltaje de las lámparas (sistema DHS). -Intensidad lumínica de las luminarias (sistema DHS).  <b>PARÁMETROS:</b> -Luxes en la zona de trabajo

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>energía DIN Carlo Gavazzi EM10.</p> <p>- Detectores de iluminación estándar Hagner SD2.</p> <p>- Fotodiodo Hamamatsu S7686 integrado - Sensor de luz Hagner ELV-841.</p> <p>- Tableros eléctricos personalizados basados en fotodiodos Hamamatsu S1133</p> <p>- Lámpara de tareas LED conmutable 6W.</p>	<p>oficina una vez detectada ocupación, sin importar el nivel de iluminación natural pues no hay un control manual.</p> <p>2. Detección de ausencia (ASD): es un interruptor manual en la puerta combinado con detección de ausencia y lámpara de tarea LED, 6 W. El interruptor manual permite controlar la luz artificial cuando la luz natural basta, o cuando sólo se quiere utilizar la lámpara de tareas.</p> <p>3. Captura de luz diurna con detección de ausencia (DHS): Un sistema regulable de luz diurna y lámpara de tarea LED 6W. El sistema DHS permite controlar los niveles de iluminación de forma automática</p> <p>4. Lámpara LED de tareas (TKS) 6 W, y sin iluminación eléctrica general en la habitación: el método TSK se basa en utilizar sólo la lámpara de tareas LED e inhabilitar la iluminación general.</p>	<p>normales; el período fue considerado suficiente para familiarizarse con el sistema e identificar sus principales fortalezas y debilidades. cada sistema de iluminación eléctrica proporcionó 500 lux en el área de tareas, incluyendo la iluminación proporcionada por la lámpara de tareas LED. El registrador de datos escaneó los sensores cada 30 segundos, pero los datos se promediaron y se guardaron en 6 minutos y tablas de 1 hora.</p>	<p>- tiempo de adquisición de datos</p> <p>- Área de las oficinas.</p> <p>- orientación de los puntos cardinales.</p> <p><b>ESCENARIO DE PRUEBA:</b></p> <p>El estudio se lleva a cabo en 4 oficinas de características similares, las cuales son:</p> <p>Cada sala de ensayo tenía una superficie de 14,5 m<sup>2</sup>. El piso estaba cubierto de linóleo gris (reflectancia 16%). Las paredes y el techo estaban pintados de blanco con una reflectancia medida del 85% y 90% respectivamente. La pared exterior del Oeste tenía una relación de acristalamiento a pared de 30% y una relación de acristalamiento a suelo de 15%. Cada habitación tenía dos lámparas de techo colgantes T5 (tubos fluorescentes), además de una lámpara de 6 W LED de tarea, que era manualmente conmutable y regulable. El sistema de iluminación proporcionó una densidad de potencia de iluminación (LPD) por sus siglas en inglés (Lighting power density) de aproximadamente 8 W / m<sup>2</sup>.</p>
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>-Se presentan pérdidas en espera debido a que cada sensor necesita de energía eléctrica para permanecer en funcionamiento aun cuando las oficinas se encuentran desocupadas.</p> <p>-Los ocupantes prefieren tener control sobre la iluminación, así que siempre se debe proporcionar algún tipo de controles manuales.</p> <p>- Los cuatro LCSs evaluados en salas de oficina individuales tuvieron un desempeño muy diferente en términos de uso de energía y satisfacción de los ocupantes.</p>	<p>El detector de presencia PSD presento el peor desempeño, es decir, 18,53 kWh consumidos durante los dos meses.</p> <p>Este resultado era previsible, ya que la iluminación eléctrica estaba encendida incluso con suficiente luz diurna disponible, el caso del detector de presencia se utiliza como línea de base para el cálculo de los otros sistemas.</p> <p>El ASD consiguió un 75% menos de consumo de energía (4,71 kWh de consumo absoluto de electricidad durante dos meses), el DHS 79% (3,95 kWh) y, por último, la lámpara de trabajo TSK permitió ahorrar hasta un 97% (0,49 kWh).</p>
---	---

TABLA 7. ESTRATEGIA DE AHORRO 2.

<b>Título del estudio:</b> ahorro energético de iluminación en oficinas que utilizan diferentes sistemas de control y su consumo real (Roisin, Bodart, Deneyer, & Herdt, 2008).				
<b>Resumen del estudio:</b> El objetivo principal de este estudio fue predecir, mediante la simulación, los consumos energéticos de la iluminación en las oficinas según diferentes sistemas de control, los cuales son: 1. Sistema de regulación de luz diurna individual (IDDS) de sus siglas en inglés (Individual daylight regulation system). 2. Conmutación de detección de movimiento (MDS) (de sus siglas en inglés Motion detection switching). 3. Regulación de movimiento (MDD) (de sus siglas en inglés Movement regulation), además, Se utiliza el programa de simulación DAYSIM para calcular la luz del día disponible en una oficina durante todo el año de acuerdo a su orientación, utilizando parámetros medidos de manera tangible en un laboratorio.				
<i>Descripción de la metodología</i>				
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>		<i>Variables, parámetros y escenario de prueba.</i>
		Reconversión tecnológica	Estrategia operativa	
-Simulador DAYSIM. - Simulador dialux. -equipos medidos: luminaria ETAP R2600 / 158, equipado con tubos Philips Master TLD super 840 58W. - Dos balastos electrónicos regulables: (1-10 VDC) (Philips HF-R 158 TLD) y el otro con un comando	Se crea una oficina teórica con el fin de probar la influencia de la latitud en las posibilidades de ahorro de energía de luz artificial. Se realizaron simulaciones diurnas dinámicas precisas con el software DAYSIM para calcular la iluminación diurna para cada posición del sensor de luz diurna en la habitación, cada 5 min, durante todo el año. DAYSIM, que utiliza el algoritmo RADIANCE, utiliza ficheros de datos climáticos	Este trabajo combina medidas eléctricas y fotométricas y simulaciones por ordenador, se mide la potencia de los detectores, sensores y controlador en un laboratorio, además del flujo luminoso de la lámpara para comprar con los datos del fabricante y obtener resultados con datos reales en la simulación, con el fin de evaluar el consumo de energía de iluminación de una oficina típica en diferentes situaciones.	<b>VARIABLES MODIFICADAS:</b> - factor de ocupación. - intensidad lumínica. - Voltaje de las lámparas.  <b>PARAMETROS:</b> -Luxes en la zona de trabajo -tiempo de adquisición de datos - Área de las oficinas. -orientación de los puntos cardinales. <b>ESCENARIO DE PRUEBA:</b> Para la simulación se crean dimensiones de la oficina	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>digital (DALI) (Philips HF-R DALI 158 TLD).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FOTOSENSOR (TAOS TSL250R)</li> <li>- Controladores de transferencia de información.</li> <li>- Algoritmo RADIANCE.</li> </ul>	<p>por hora para calcular la iluminancia de acuerdo con un modelo de cielo, teniendo en cuenta la posición del sol.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El número de luminarias y su posición se calculó con Dialux, de acuerdo al área propuesta para el estudio.</li> <li>-Se instala un IDDS por luminaria.</li> </ul> <p>Los sistemas de control MDS &amp; MDD dependen sólo de la ocupación. Los cálculos se hicieron para cada orientación y ubicación. Para la situación de referencia, se considera que las lámparas y sensores sólo son gestionados por un sistema programado de apagado automático.</p>	<p>para el estudio, las cuales son:</p> <p>Ancho 3,05 m, longitud 6,55 m y altura 3,05 m. Una ventana de 3,05 m x 1,01 m a 1,01 m sobre el suelo, está situada en una de las superficies de la habitación, esta ventana está equipada con un doble acristalamiento con un 77% de transmitancia visible. La sala estaba orientada arbitrariamente de acuerdo con las cuatro orientaciones principales (norte, sur, oeste y este) y colocada en tres lugares diferentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El número de luminarias y su posición se calculó con DiaLux, La mejor solución fue colocar cuatro luminarias en dos filas, con esta configuración, la iluminancia artificial media es igual a 615 lx y la uniformidad en el plano de trabajo es igual a 0,73.</li> </ul>
---	---	---

**Resultados y conclusiones**

<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>
<p>Para la situación de referencia, se consideró que las lámparas y sensores sólo son gestionados por un sistema programado de apagado automático. Para una latitud baja, los ahorros están alrededor de un 50%.</p> <p>En el estudio, la orientación sur conduce a una ganancia del 7-12% (dependiendo de la ubicación) en comparación con una orientación norte. El oeste y el este condujeron al ahorro similar de 4.5-10%.</p> <p>También podemos observar que, incluso en la peor situación, el control IDDS es eficiente y conduce a una ganancia mínima del 45% en comparación con el caso de referencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Observamos que, incluso en una oficina orientada al norte en invierno, el impacto de un sistema IDDS es muy importante (alrededor del 30% de las ganancias).</li> </ul>	<p>Una situación ineficaz sin la interrupción nocturna conduciría a un consumo excesivo del 235% en comparación con el caso de referencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Los valores de oscurecimiento diurno en comparación con la tasa de ocupación conduce a mayores ganancias que varían entre 27 y 44% dependiendo de la ubicación y orientación.</li> <li>-Al medir el consumo de instalaciones modificadas, concluyeron que un sensor de ocupación puede ahorrar hasta un 20% y un sistema de control de atenuación de luz diurna hasta un 26% en comparación con la conmutación manual.</li> </ul> <p>El control de la energía eléctrica en función de la luz del día conduce a un ahorro muy alto; Dependen ligeramente de la orientación de la habitación y la ubicación. Los ahorros varían de 45 a 61%.</p>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA 8. ESTRATEGIA DE AHORRO 3.

<b>Título del estudio:</b> Estudio de los datos de la luz del día y ahorro de energía de iluminación para los corredores del atrio con controles de atenuación de la iluminación. (Li, Cheung, Chow, & Lee, 2014)				
<b>Resumen del estudio:</b> Se realizaron mediciones de campo de controles de atenuación de alta frecuencia en corredores de atrio. Se registraron y analizaron los parámetros considerados importantes en la evaluación de controles de atenuación de alta frecuencia tales como la carga de iluminación eléctrica, la disponibilidad de luz diurna y la iluminancia interior.				
<i>Descripción de la metodología</i>				
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>		<i>Variables, parámetros y escenario de prueba.</i>
		Reconversión tecnológica	x	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- sistema fotovoltaico integrado.</li> <li>- Controles de atenuación de alta frecuencia.</li> <li>- sistema de registro de nivel de iluminación.</li> </ul>	<p>Para el estudio se analizan los pisos 6, 7, 8 y 9 del edificio, dentro del estudio encontraron que los pisos tienen una iluminación de diseño de 100 lx por encima de lo recomendado, lo que permite potenciales ahorros de energía con la atenuación de iluminación hasta los valores recomendados. Se realizaron mediciones de campo que incluyeron los niveles de iluminación y los gastos de energía de iluminación eléctrica entre febrero de 2012 y enero de 2013. Los datos se registraron a intervalos de 2,5 minutos para la iluminación y los intervalos de 5 minutos para el consumo de energía, de 9:00 am a 6:00 pm. Estos 12 meses de datos medidos proporcionaron alrededor de 420,000 datos para iluminación corredores y 140,000 lecturas para consumo.</p>	<p>Fueron instalados controles de atenuación que varían la salida de luz de las lámparas de acuerdo con el nivel de luz diurna predominante. Cuando la luz del día es insuficiente para lograr la iluminancia de diseño requerida, el nivel de iluminación interior se completa con iluminación artificial. Se instalaron tres sensores fotoeléctricos de nivel de luz montados en el techo, a lo largo de la misma línea del corredor para registrar la iluminancia. Los datos se transmitieron a un sistema de registro de nivel de iluminación para su grabación.</p>	<p><b>VARIABLES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensidad lumínica.</li> <li>- Voltaje de las lámparas.</li> </ul> <p><b>PARÁMETROS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Luxes en la zona de trabajo</li> <li>- tiempo de adquisición de datos</li> <li>- Área de los corredores.</li> <li>- Orientación de los puntos cardinales.</li> </ul> <p><b>ESCENARIO DE PRUEBA:</b> El edificio institucional es un bloque de 13 pisos situado en Hong Kong, que se encuentra a lo largo de la costa sur de China en la región subtropical, a una latitud de 22,3°N y una longitud de 114, 2°E. El edificio fue diseñado con una claraboya y un atrio escalonado cerrado Para cosechar la luz del día. La claraboya contiene un sistema fotovoltaico integrado en el edificio montado sobre la abertura del techo. Los corredores del atrio con las dimensiones de 2,65 m (ancho), 14,65 m (a lo largo del atrio) y 2,22 m (altura) se utilizan para la circulación a diferentes aulas. Existen 67 números de tubos fluorescentes T5 de bajo consumo, con potencia nominal de 14 W a 35 W para los pasillos de cada piso. Los</p>	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

		controles de atenuación ligados a la luz del día se instalaron en los corredores del piso 9.
<b>Resultados y conclusiones</b>		
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
<p>-Los gastos de iluminación eléctrica en los meses de verano entre junio y septiembre fueron inferiores a los de otros períodos.</p> <p>- El consumo máximo de energía de iluminación eléctrica se obtuvo a partir de los medidores de potencia registrados durante la noche (es decir, después de la puesta del sol). La carga máxima de iluminación es de 2261 W más accesorios, incluyendo las cargas de lastre electrónicas para los pasillos. La densidad de potencia de iluminación definida como la potencia eléctrica consumida por las instalaciones de iluminación por unidad de superficie en el corredor fue de 14,6 W / m<sup>2</sup>.</p>	<p>-Para el piso 9 Se pueden observar ahorros significativos de energía individuales en todos los meses, que van desde 14% en noviembre hasta 65% en agosto.</p> <p>En la iluminación interior de diseño de 100 lx, el ahorro de energía es de 73,2%, 71,3% y 67,5% para los pisos 8, 7 y 6, respectivamente.</p> <p>- se presentan variaciones en el consumo energético de acuerdo a la ubicación del corredor y a los meses del año de acuerdo a los niveles de iluminación, los porcentajes de ahorro se compararon con los niveles máximos de consumo, los cuales están representados en la noche, pues la disponibilidad de luz natural es el parámetro clave para evaluar el rendimiento de la luz de día y el ahorro de energía de iluminación.</p>	

TABLA 9. ESTRATEGIA DE AHORRO 4.

<b>Título del estudio:</b> Controlador de lógica difusa para ahorro de energía en un sistema inteligente de iluminación LED considerando la comodidad de la iluminación y la luz del día.(Liu, Zhang, Chu, & Liu, 2016).				
<b>Resumen del estudio:</b> Se diseñó un controlador de lógica difusa que consideraba la luz del día, la información del movimiento y el confort de iluminación. El protocolo DALI (de sus siglas en inglés Digital Addressable Lighting Interface) se utilizó para comunicar el controlador con luminarias LED. Los resultados de la simulación demuestran que el sistema de iluminación sin control puede proporcionar suficiente iluminación, pero el sistema de iluminación proporciona un control más amplio para que el entorno de iluminación funcione en el estado de mayor ahorro de energía. La oficina donde se instala el sistema inteligente de iluminación LED puede regular la salida de iluminación automáticamente basándose en los movimientos de los usuarios y permitir a los ocupantes elegir sus propias preferencias de iluminación.				
<b>Descripción de la metodología</b>				
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada		Variables, parámetros y escenario de prueba.
		Reconversión tecnológica	X	
-Simulador Dialux. -Sistema de control de iluminación DALI.	Para el estudio se escoge una oficina en la universidad de shandong en China y luego utilizar los datos de esta oficina para la simulación. En la oficina, fueron implementados 5	En esta investigación se empleó una plataforma de sensores de luz y sensores de movimiento. La plataforma se basó en un micro controlador STM32103ZET6 de muy baja potencia. Basándose en los datos recibidos del bus RS485, la salida de iluminación artificial requerida se produjo a través del		<b>VARIABLES</b> -Intensidad lumínica. -Factor de ocupación. -Potencia.  <b>PARAMETROS</b> -Luxes en la zona de trabajo -Temperatura de color. - Área de las oficinas.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- micro controlador STM32103ZET6 - Sensores de luz y sensores de movimiento. -Ethernet RJ45	escenarios de control. En el escenario 1, el nivel de iluminación de la mesa de trabajo se midió con todas las luminarias que funcionaban con brillo total sin control. En el escenario 2, el valor de iluminación de la mesa se mantuvo en el nivel más cómodo considerado por los usuarios, cuando el sensor de movimiento detectó que un usuario abandona el área de trabajo, el nivel de iluminación disminuye hasta que el usuario vuelve al área de trabajo. En los escenarios 3y4, los usuarios eligen sus propias preferencias de iluminación de acuerdo con diferentes requisitos de trabajo. Mediante el uso de Ethernet RJ45, el módulo de control DALI se conectó a un PC. Los usuarios pueden seleccionar sus propias preferencias de iluminación a través del panel táctil. A lo largo de la jornada de trabajo, se midió la iluminación diurna en las mesas cada hora durante el horario de oficina, el 8 de octubre de 2015. Los datos medidos se registraron en tablas.	controlador de lógica difusa diseñado. Mediante el uso de Ethernet RJ45, el módulo de control DALI se conectó a un PC, Los usuarios pueden seleccionar sus propias preferencias de iluminación a través del panel táctil. Para la simulación, la luz diurna no fue considerada; pero se considera la cantidad de luminarias, el tipo de lámpara, temperatura de color, altura de las lámparas y área de trabajo, así como la comodidad del usuario con la iluminación disponible. Encuentran que la iluminación es mayor a la recomendada, lo que indica gran potencial de ahorro de energía.	-orientación de los puntos cardinales. - Altura de la luminaria <b>ESCENARIO DE PRUEBA</b> Oficina en la Universidad de Shandong en China que mira hacia el norte, La oficina está ubicada en el tercer piso, con dimensiones de 12.6 m largo × 6.6 m ancho × 2.75 m de alto. Hay 9 juegos de luminarias LED con 2 × 18 W en la oficina, temperatura de color de 4000 k.
---	--	---	---

**Resultados y conclusiones**

El consumo de energía de iluminación sin control es de 324 W. En el escenario con un rendimiento de iluminación más cómodo, el consumo de energía de iluminación es de 287,64 W, es decir, aproximadamente el	En consideración a las preferencias de iluminación de los usuarios, se puede lograr un ahorro energético del 30,67%. Bajo la iluminación más baja en el nivel de límite inferior, el sistema de iluminación LED consume un 56,56% menos de energía que las luminarias LED con brillo total.
---	---

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

11,22% de la energía se puede ahorrar y un ahorro de energía adicional de 5,34% se puede lograr considerando la información del movimiento del usuario (factor de ocupación).	
---	--

TABLA 10. ESTRATEGIA DE AHORRO 5.

<b>Título del estudio:</b> Análisis de los ahorros de energía de tres sistemas de control de luz diurna en un edificio escolar por medio de monitoreo (Delvaeye et al., 2016).					
<b>Resumen del estudio:</b> El objetivo de este trabajo es comparar el potencial de ahorro de energía y el funcionamiento de diferentes sistemas de control de luz diurna en edificios escolares. Un año de seguimiento se ha llevado a cabo simultáneamente en 3 aulas vecinas con características de construcciones idénticas, equipadas con un tipo diferente de sistema de control. La potencia activa y el consumo de energía eléctrica de la iluminación artificial se midieron continuamente minuto a minuto, así como la ocupación de las aulas y la irradiancia global fuera del edificio bajo un horizonte sin obstrucciones. Para el proyecto de investigación, la iluminación artificial existente en las aulas es reemplazada por una nueva iluminación fluorescente regulable. Todas las aulas también están equipadas con detección de ausencia.					
<b>Descripción de la metodología</b>					
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada			Variables, parámetros y escenario de prueba.
		Reconversión tecnológica	X	Estrategia operativa	
-Simulador Dialux. - Sensores fotométricos (Gigahertz-Optik, tipo detector de cabeza: VL-3701-2 - Detector de presencia (tipo ESYLUX PD-C360i / 24 DC24Vplus). - piranómetro de silicio (tipo Kipp y Zonen SP Lite2). - Sistema PLC.	En los salones de clase 1 y 2 se implementan 2 tipos diferentes de sistemas de control de luz de bucle cerrado, se instala un sistema de bucle abierto con sensor orientado hacia afuera en la clase 3. En el aula 1, tiene su propio sensor de luz diurna, mientras que en el aula 2 se instala un sensor de luz solar de posición central. Esto significa que en el aula 1, todas las luminarias pueden atenuarse por separado. En el aula 3, se programa un nivel de regulación separado para cada fila de luminarias paralelas al lado de la ventana. Si hay una gran cantidad de luz diurna en la habitación, cada grupo	Se realiza con Dialux una simulación de la distribución de los factores de luz diurna sobre la superficie del suelo a la altura del plano de trabajo (0,8) m, el factor de luz diurna obtenido es 2,9%.  El control de luz natural fue instalado de manera que el nivel de iluminación se mantenga en 500 lx en todas las circunstancias.  Mediante un sistema PLC central se ejecutan 3 aplicaciones de recolección de datos y monitoreo, 1 para cada aula, este monitoreo se llevó a cabo del 01/12/2013 al 30/11/2014. El monitoreo de la ocupación se realiza mediante un detector de presencia (tipo ESYLUX PD-C360i / 24 DC24Vplus), que detecta la presencia de personas registrando el movimiento de la radiación infrarroja. Se ha instalado en el centro de la clase, a la altura del techo (2,8 m). El monitoreo de la irradiancia horizontal global se lleva a cabo utilizando un piranómetro de silicio (tipo Kipp y Zonen SP Lite2)	<b>VARIABLES:</b> -Factor de ocupación. - Intensidad lumínica. -Voltaje aplicado a las lámparas.  <b>PARÁMETROS.</b> -luxes en las áreas de trabajo. - Niveles de reflectancia. - Irradiancia. - Tiempo de adquisición de datos.  <b>-ESCENARIO DE PRUEBA.</b> Las tres aulas están situadas en el primer piso de un edificio de una escuela secundaria en Haacht (Bélgica). El clima prevaliente en Bélgica puede ser descrito como un clima marítimo templado. El edificio fue entregado en 2008 y las ventanas de las aulas están orientadas al norte / noroeste. La penetración de la luz del día		

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	de luminarias puede apagarse si el valor de la luz permanece por debajo de 12% durante más de 5 min.		en las aulas no se ve obstaculizada por obstrucciones externas, ya que no hay árboles o arbustos en el vecindario y el edificio opuesto es un edificio de un solo piso a unos 25 m de distancia. La superficie del piso está ocupada por sillas y mesas con un coeficiente de reflexión medio del 40%.
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
El consumo mensual de energía difiere mucho dependiendo de la ocupación, el comportamiento del usuario y la disponibilidad de luz diurna.		Mientras que el sistema de control de luz de día en bucle cerrado en el aula 1, utilizando una luminaria de sensor de luz diurna individual, produjo 34% de ahorro total de energía, los ahorros de energía en el aula 2 llegaron a sólo 18%. En el aula 3, en la que se utiliza un sensor de luz solar orientado hacia afuera, el 46% de la energía de iluminación se ahorra mediante la instalación del sistema de control de luz diurna.	

TABLA 11. ESTRATEGIA DE AHORRO 6.

<b>Título del estudio:</b> Eficiencia energética en sistemas de iluminación para oficinas bajo diferentes estrategias de control (Xu et al., 2017).						
<b>Resumen del estudio:</b> El estudio se enfoca en estudiar el potencial de ahorro energético utilizando diferentes estrategias de control, para identificar el potencial de ahorro se usan dos oficinas: una oficina como escenario de prueba (oficina 801) y otra como referencia del estudio para realizar la comparación y determinar el porcentaje de ahorro (oficina 701). La potencia de iluminación y el uso de energía en ambas oficinas son monitoreados por medidores de potencia, son aplicadas 8 estrategias de control, el sistema de iluminación funcionó durante una semana bajo cada estrategia. La oficina de prueba fue separada por 4 zonas, buscando garantizar los 300lx que requiere el área.						
<b>Descripción de la metodología</b>						
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada				Variables, parámetros y escenario de prueba.
		Reconversión tecnológica	X	Estrategia operativa	X	
-Sensores OSRAM LS/PD multi. -Software Ecotect. -Software Daysim. -Sensor SW -Sensor NW	Se aplicaron ocho estrategias de control teniendo en cuenta que las oficinas, construidas idénticamente, cuentan con un buen aprovechamiento de la luz día y los espacios no siempre están ocupados; a continuación, se muestran las 8 estrategias:	Se utilizaron dos oficinas diseñadas idénticamente para la ejecución de la investigación y la muestra de resultados, en el escenario de prueba fueron instalados detectores de presencia, controladores de luz día y de oscurecimiento; alternando sus combinaciones dependiendo de la estrategia	<b>VARIABLES:</b> -Factor de ocupación. - Intensidad lumínica. -Voltaje aplicado a las lámparas.  <b>PARÁMETROS.</b> -luxes en las áreas de trabajo.			

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<ul style="list-style-type: none"> <li>- PLC para recolección de datos.</li> <li>-Medidores de potencia.</li> <li>-Controlador DALI.</li> <li>-Sensores de movimiento.</li> </ul>	<p>Estrategia 1: Detección de los ocupantes activada, control por luz día desactivado.</p> <p>Estrategia 2: Detección de los ocupantes activada con encendido manual, control por luz día desactivado.</p> <p>Estrategia 3: detección de ocupantes desactivada, control por luz día activada con encendido no automático con luz de día insuficiente.</p> <p>Estrategia 4: detección de ocupantes desactivada control por luz día activado con apagado no automático con luz del día suficiente.</p> <p>Estrategia 5: ambos sistemas de control activados.</p> <p>Estrategia 6: detección de los ocupantes activada, control de la luz del día activado con acción de control acorde al nivel de oscurecimiento.</p> <p>Estrategia 7: Detección de los ocupantes activada, con encendido manual, control por luz día activado.</p> <p>Estrategia 8: Detección de los ocupantes activada con encendido manual, control por luz día activado con apagado no automático con luz del día suficiente.</p> <p>La detección de ocupantes es controlada por sensores de movimiento con tres modos de control: (1) habilitado; (2) habilitado, no activado automáticamente si detecta el movimiento del ocupante; Y (3) desactivado. La diferencia entre (1) y (2) es que las luminarias se activan automáticamente cuando se detecta el movimiento del ocupante en (1), pero no en (2). En (2), los</p>	<p>implementada para evaluar sus porcentajes de ahorro en comparación con los datos arrojados por los simuladores instalados en la oficina de referencia.</p>	<p>- Tiempo de adquisición de datos.</p> <p><b>ESCENARIO DE PRUEBA:</b> Oficina de 15m x 15 m donde el escenario de prueba fue instalado, está localizado en la esquina oeste del octavo piso (cuarto 801), con la fachada sur oeste y noroeste iluminada por la luz del sol. La oficina cuenta con tres espacios, la oficina abierta, sala de reuniones y la oficina del personal. En la oficina abierta las lámparas se encuentran suspendidas desde el techo mientras que en los otros dos espacios se encuentran ancladas (empotradas) al mismo. Todas las lámparas se pueden encender/apagar manualmente en grupos.</p>
---	---	---	--

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>ocupantes deben encender manualmente las luces. El control de iluminación diurna está controlado por sensores de iluminación con cinco modos de control: desactivado, habilitado y tres modos habilitados limitados. Las luminarias se controlan independientemente en cada grupo, y no se comparte ninguna señal entre los diferentes grupos de control.</p> <p>Las lámparas en la oficina 801 se controlan en 4 grupos con un controlador DALI MULTI 3 para cada grupo con 1 o 2 sensores combinados que pueden medir tanto la señal del ocupante como la iluminancia. La iluminancia de cada punto de ensayo se midió cada minuto de 8:00 a 16:59 durante el período del 24 de septiembre al 30 de octubre de 2011.</p>		
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>		
<p>El consumo de energía varía de acuerdo a la estrategia aplicada y las incertidumbres de la conducta humana.</p> <p>Entre las estrategias 3 y 7 la mejor opción es la estrategia 7, debido a que la 3 no tiene sistema de detección y puede presentar pérdidas energéticas por lámparas encendidas innecesariamente.</p>	<p>Los estudios demuestran que las estrategias 3 y 7 muestran el mejor rendimiento de ahorro de energía, lo que representa un ahorro de aproximadamente el 50%.</p> <p>El control por oscurecimiento puede mejorar el confort visual, sin embargo, el espacio podría ser más eficiente si fuera iluminado por la luz del día. Comparando los modos dos y siete, el control de luz del día con lámparas fluorescentes regulables presenta una reducción en el consumo eléctrico del 23%. En el modo 8 las luminarias son encendidas y apagadas con menos frecuencia, lo cual aumenta el tiempo de vida de las mismas y presenta una actuación aceptable en términos energéticos.</p>		

TABLA 12. ESTRATEGIA DE AHORRO 7.

<b>Título del estudio:</b> Soluciones de reacondicionamiento para ahorro energético para sistemas de iluminación en edificios históricos (Ciampi, Rosato, Scorpio, & Sibilio, 2015).
--

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Resumen del estudio:** El estudio evalúa el posible ahorro de energía mediante la sustitución del sistema de iluminación existente en un edificio histórico. El análisis se centró en una oficina en la Abadía de San Lorenzo que se encuentra en Aversa (sur de Italia) y alberga el Departamento de Arquitectura y Diseño Industrial de la Segunda Universidad de Nápoles. Se evaluó la influencia de diversas acciones, tales como diferentes tipos, diferentes disposiciones y diferentes alturas de montaje de las luminarias y diferentes valores de reflectancia de las paredes en términos de Indicador Numérico de Energía de Iluminación (LENI) y uniformidad de iluminancia. Finalmente, se consideró la influencia de tres tipos diferentes de ventanas.

<b>Descripción de la metodología</b>						
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>				<i>Variables, parámetros y escenario de prueba.</i>
		Reconversión tecnológica	X	Estrategia operativa	X	
-Luminarias fluorescentes 116W. -Medidores de iluminación Konica Minolta T-10. - espectrofotómetro Minolta CM - 2600d -Dialux.	Con el fin de evaluar la posibilidad de aumentar la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado en un edificio existente y, en particular, en edificios históricos, se tuvieron en cuenta varias medidas de reacondicionamiento: Estrategia 1: la sustitución de la luminaria existente con dos diferentes tipos y luminarias más eficientes. Luminaria tipo 1 fue equipada con una fuente de luz fluorescente (flujo luminoso: 300 lm y potencia de luminaria 42W) Estrategia 2: para cada tipo de las nuevas luminarias, dos diferentes arreglos de luminaria fueron considerados; la primera en posición horizontal y la segunda en posición vertical Estrategia 3: para cada tipo de luminaria y arreglo, fueron usadas tres diferentes alturas (2,5m, 3.3m y 3.5m desde el piso)	El análisis se realizó tanto desde puntos de vista energéticos como fotométricos, examinando la variación de los valores de LENI y de uniformidad de iluminancia con respecto a una configuración de referencia. Las simulaciones se realizaron asumiendo: -Ninguna obstrucción externa. -Valor medio de iluminación objetivo de 300lx. -Control manual del sistema de iluminación artificial. -Orientación de la sala 15° suroeste. -Uso de luz diurna igual a 2250 horas -Horas sin uso luz diurna 250. -Superficie valor LENI igual a 24,8 m2. -Se tiene en cuenta el cambio de luminarias.	<b>VARIABLES:</b> - Intensidad lumínica.  <b>PARÁMETROS.</b> -luxes en las áreas de trabajo. - Niveles de reflectancia. - Irradiancia. -Horas de luz diurna. <b>-ESCENARIO DE PRUEBA.</b> La sala investigada en este trabajo se encuentra en el primer piso del cuerpo principal de la Abadía, construida a finales del siglo X La oficina tiene una superficie equivalente a unos 26 m2. La altura de la sala es de 5,45 m la superficie del techo está cubierta de tablas pintadas de color marrón oscuro. Las paredes tienen un grosor de aproximadamente 1,00 m la ventana se coloca en su lado externo, la sala se ilumina mediante cuatro luminarias fluorescentes con una potencia eléctrica de 116 W para cada una, que aseguran un valor medio de iluminación de 397 lux.			

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Estrategia 4: para cada tipo de luminaria y arreglo, se consideran tres diferentes valores de la reflectancia de las paredes (30%, 50% y 88%) Estrategia 5: tres diferentes tipos de ventanas con la misma área, pero con diferente proporción entre el área del vidrio y el área de la ventana.		
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
La simulación permitió conocer cómo las acciones simples y muy baratas, como cambiar la altura de montaje de la luminaria o de la pintura de las paredes, pueden influir en el consumo de energía. Es interesante observar que todas las estrategias consideradas permiten una notable reducción del valor de LENI y que los posibles resultados que se pueden conseguir son similares tanto para ambos tipos de luminarias como para ambas disposiciones de luminarias.		Considerando la altura de las luminarias, al cambiar de 2,5 m a 3,5 m se aumenta el consumo de 31 kWh/año a 39.4 kWh/año. Considerando la reflectancia de las paredes, una reflectancia del 30% contribuye a un consumo energético de 70.4 kWh/año y una reflectancia de valor 88% contribuye a un consumo energético del 56.8 kWh/año, lo que representa un ahorro energético del 20%.	

TABLA 13. ESTRATEGIA DE AHORRO 8.

<b>Título del estudio:</b> Potencial de ahorro energético y estrategias para la iluminación eléctrica en futuros edificios de oficinas en Europa del Norte: Una revisión de la literatura. (Dubois & Blomsterberg, 2011).			
<b>Resumen del estudio:</b> Este artículo presenta las cifras clave de consumo de energía y explora el potencial de ahorro para la iluminación eléctrica en edificios de oficinas basándose en una revisión de la literatura pertinente, con especial énfasis en un contexto de Europa del Norte. Se presentan y discuten estrategias para reducir el uso de energía para la iluminación eléctrica, que incluyen: mejoras en la tecnología de lámparas, lastre y luminarias, uso de iluminación de tarea / ambiente, mejora en el factor de mantenimiento y utilización, reducción de niveles de iluminación mantenidos y tiempo total de conexión, uso de sensores manuales de oscurecimiento y apagado. También se presentan las estrategias basadas en la recolección de luz diurna y se discuten los aspectos de diseño relevantes tales como los efectos de las características de las ventanas, las propiedades de los dispositivos de sombreado, la reflectancia de las superficies interiores, el techo y la altura de la partición.			
<b>Descripción de la metodología</b>			
<i>Herramientas empleadas</i>		<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>	<i>Variables, parámetros y escenario de prueba.</i>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	Reconversión tecnológica	X	Estrategia operativa	x	
-Proyecto sueco en edificios de oficinas de bajo consumo energético.	<p>A continuación, se presentan las estrategias para reducir el consumo de energía en iluminación, las cuales están divididas en dos secciones: las directamente relacionadas con la instalación eléctrica (1) y las relacionadas con la recolección diurna (2).</p> <p><b>Sección 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejora de la tecnología de lámparas.</li> <li>-Mejora de la tecnología lastre (balastros).</li> <li>-Mejora de la tecnología de luminarias.</li> <li>-Uso de iluminación de tarea/ ambiente.</li> <li>-Mejora del factor de mantenimiento.</li> <li>-Mejora en utilidad o factor de utilización.</li> <li>-Reducción de los niveles de iluminación mantenidos.</li> <li>-Reducción del tiempo de conexión.</li> <li>-Sensores de ocupación y/o atenuación manual / automática.</li> </ul> <p><b>Sección 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Efecto de la latitud y orientación.</li> <li>-efecto de las características de las ventanas.</li> <li>-Efecto de los dispositivos de sombreado.</li> <li>_efecto de la reflectancia de las superficies internas.</li> <li>-Efecto de la altura del techo.</li> </ul>	Este artículo explora el potencial y las estrategias para el ahorro de energía en la iluminación de oficinas, incluidos los sistemas de control principalmente en el norte de Europa con alguna información específica de Suecia. El artículo se basa en una revisión de la literatura realizada en el marco del proyecto sueco "Edificios de oficinas de bajo consumo energético: simulaciones y directrices de diseño".				<p><b>VARIABLES.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Factor de ocupación.</li> <li>- Intensidad lumínica.</li> <li>-Voltaje aplicado a las lámparas.</li> </ul> <p><b>PARÁMETROS.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-luxes en las áreas de trabajo.</li> <li>- Niveles de reflectancia.</li> <li>- Irradiancia.</li> </ul>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	-Efecto de la altura de la partición.		
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
<p>La revisión revela que las mediciones en escala, los cálculos teóricos y las simulaciones con programas de simulación validados indican que alcanzar el objetivo de consumo de 10KWh/m<sup>2</sup> año es posible de alcanzar para futuros edificios de oficina de baja energía; lo que produciría una reducción significativa de la intensidad energética de al menos 50% en comparación con el consumo de iluminación eléctrica promedio actual en Suecia (21KWh/m<sup>2</sup> año).</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejora de la tecnología de la lámpara: la sustitución de lámparas T12 a T8 puede ahorrar hasta un 10% de consumo de energía, las lámparas T5 logran una reducción del 40% en comparación con lámparas T12.</li> <li>- Mejora de luminarias: la combinación del nuevo material reflector en los aparatos de iluminación con atenuación (luz natural y ocupación) permite alcanzar un 40% de reducción de energía.</li> <li>-Uso de iluminación de tareas / ambiente: las instalaciones que combinan niveles de luz natural con alumbrado general de bajo nivel, e iluminación de tareas, presentan una reducción del 25% en comparación con una iluminación general fija.</li> <li>-Mejorar el factor de mantenimiento: Esto depende de las condiciones ambientales y de funcionamiento. En las oficinas, escuelas y tiendas la salida de luz puede reducirse hasta un 5%.</li> <li>-Reducción de los niveles de iluminación mantenidos: teniendo en cuenta que no existe una iluminación universalmente preferida, al disminuir 100 lx podría obtener una disminución del 20% en el consumo de energía.</li> <li>-Mejora en la tecnología de lastre: cambiar la tecnología de lastre representa ahorros entre el 4 y 8%.</li> <li>-Reducción del tiempo de conexión: la norma europea EN 15193 recomienda un tiempo total de utilización de la iluminación de 2250 horas diurnas + 250 horas nocturnas en oficinas, mantener esta recomendación representa una reducción en el consumo del 6% para las oficinas en Suecia.</li> <li>-Uso de sensores de oscurecimiento y ocupación manual/ automático: varios estudios demuestran que para el oscurecimiento manual los ahorros de energía obtenidos oscilan entre 7-25%; para los sensores de ocupación, los ahorros de electricidad son 20-35%.</li> </ul> <p>Estrategias relacionadas con la recolección diurna: las investigaciones han demostrado que los sistemas de control de iluminación ligados a la luz del día, como el encendido/apagado automático y el oscurecimiento continuo, tienen el potencial del reducir el consumo de energía eléctrica en edificios de oficinas entre 30-60%.</p>	

TABLA 14. ESTRATEGIA DE AHORRO 9.

<p><b>Título del estudio:</b> Estrategia de control de iluminación para el diseño eficiente de sistemas de iluminación de oficina (Kumar &amp; Vishwas, 2013).</p>
<p><b>Resumen del estudio:</b> Se presenta una estrategia de programación para el diseño de sistemas de iluminación de oficinas, evaluando el aprovechamiento de la luz natural y la iluminación artificial en una simulación mediante algoritmos de control usando software de simulación. Fue diseñada esta estrategia de control debido a que en estudios anteriores se sobre estima el porcentaje de ahorro para la iluminación diurna. La</p>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

lógica de control propuesta permitirá que el sistema de iluminación funcione eficientemente para reducir el consumo de energía y también permite la recolección de la luz diurna durante las horas de trabajo en la oficina.

**Descripción de la metodología**

Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada				Variables, parámetros y escenario de prueba.
		Reconversión tecnológica		Estrategia operativa	x	
-Cortinas de ventana con actuadores de modulación motorizados. -sensores LUX. -Actuadores y reguladores de atenuación. -transformadores de corriente. -contadores de energía. -controlador digital directo con lógica de control. -Lámpara LED ENDO GLX7009W. -Dialux. -VELUX -Software de simulación se sistemas de control FX.	Para obtener resultados confiables se inicia con una simulación en VELUX DAY-light para determinar la disponibilidad de luz natural, esta simulación demuestra que la luz día podría proporcionar iluminación interior necesaria durante las horas de oficina de 9am a 5pm, lo que no concuerda con el diseño de oficina planteado, donde la luz no es uniforme en toda su área, entonces se hace necesaria la iluminación artificial durante el día. Se utiliza Dialux para determinar la iluminación artificial necesaria para complementar los niveles de iluminación requeridos, los cuales son de 500 lx, se selecciona la lámpara led glx7009w con una potencia nominal de 125 W y flujo luminoso de 6279 lúmenes. Las lógicas de control se construyen utilizando el software de simulación constructor FX. Dado que el factor de luz diurna no es uniforme en todo el espacio de oficina, esta se divide en dos zonas, Zona A y Zona B, un sensor lux se coloca en cada zona a 0,85 m sobre el suelo, el sensor fotoeléctrico (sensor lux) se utiliza para detectar el nivel de luz en el espacio, cada zona cuenta con 3 lámparas LED. Si el nivel de luz excede los	. Este artículo presenta una estrategia eficiente de control basada en la simulación y software de control de iluminación, con el fin de ser aplicada en los edificios de oficinas en Dubai.				<b>VARIABLES.</b> - Intensidad lumínica. -Voltaje aplicado a las lámparas.  <b>PARÁMETROS.</b> -luxes en las áreas de trabajo. - Niveles de reflectancia. - Irradiancia.  <b>ESCENARIO DE PRUEBA.</b> Se considera un edificio típico de oficinas en Dubai para el análisis y la simulación de la estrategia de control, el edificio tiene seis plantas, cada piso tiene doce habitaciones de oficina, el espacio de oficina para la simulación es de 7,5m largo 5m ancho, altura 4m, superficie 37,5 m <sup>2</sup> , latitud 28.35°, cuenta con dos ventanas de 1,8m alto y 2,4m ancho transmisión visula 0,78, relación entre la ventana y la pared 0,288, relación entre la ventana y la superficie 0,2304, altura sobre el suelo 0,85m, orientación del edificio 250° hacia la derecha.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>requisitos de 500 lux, las luces se atenúan hasta obtener el nivel deseado. Además, un controlador PID determina la posición de las persianas para mantener los 500 lx y reducir el deslumbramiento por los rayos directos del sol.</p> <p>Los resultados se simularon para cada hora el 21 de marzo de 2012 y el 21 de septiembre de 2012 de 9 AM a 5 PM. Se observa que las luminarias en la Zona A comenzarán a encenderse lentamente sólo después de las 2 PM y suben hasta las 5 PM.</p>		
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>		
<p>El estudio encontró que las simulaciones realizadas anteriormente parecen sobreestimar los ahorros alcanzables en el campo, especialmente para la iluminación natural. Este resultado no es sorprendente, ya que la luz del día en un edificio se ve afectada por tantos factores como la orientación del edificio, la ubicación, el clima, el tipo de ocupación, las persianas, la reflectancia, la puesta en marcha, etc.</p>	<p>La integración de la luz natural puede ayudar a reducir la demanda de energía eléctrica y mejorar la eficiencia visual de los ocupantes; los controles de iluminación aprovechando la luz diurna pueden proporcionar un ahorro entre el 6 y 70%.</p> <p>Las estrategias de control individuales pueden, en promedio ahorrar entre un cuarto y un tercio de la energía de iluminación y las estrategias de control múltiples obtienen hasta un 40% de ahorro en promedio.</p>		

TABLA 15. ESTRATEGIA DE AHORRO 10.

<b>Título del estudio:</b> Sistema de altas prestaciones para el ahorro de energía eléctrica y gestión de la energía de iluminación en edificios (Fathabadi, 2014).					
<b>Resumen del estudio:</b> En este estudio, se propuso un sistema inteligente que consiste en un dimmer multicanal, una CPU y un mecanismo de retroalimentación multicanal exacto para regular y administrar automáticamente la energía de iluminación en edificios. Se utilizó una técnica de altos beneficios para convertir la energía eléctrica en energía de iluminación. Los resultados experimentales obtenidos mediante la utilización del prototipo experimental del sistema inteligente propuesto en el edificio de la muestra, mostraron explícitamente los beneficios del sistema y validaron los resultados teóricos.					
<b>Descripción de la metodología</b>					
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>			<i>Variables, parámetros y escenario de prueba.</i>
		Reconversión tecnológica	x	Estrategia operativa	

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>-Bombillas de 100W. -potenciómetro 50K. -Micro controlador (CPU). -fotoceldas. -interruptores de alimentación controlables.</p>	<p>Para el estudio se establece un nivel de iluminación de 400LX de acuerdo al confort visual del usuario, el sistema mantiene los niveles de iluminación por medio de la regulación de la luz artificial de acuerdo a la disponibilidad de luz natural. El sistema consta de los siguientes elementos.</p> <p>-siete fotoceldas en siete salas y una fotocelda en el vestíbulo, cada fotocelda actúa como un sensor de luminancia que genera una señal de retroalimentación para ser utilizada por el sistema para determinar la luminancia en cada habitación y la sala. También hay ocho potenciómetros de 50K para ajustar la luminancia en cada habitación y la sala, donde el potenciómetro ha sido conectado en serie con la fotocelda.</p> <p>- Ocho convertidores analógicos a digitales (A / D) que convierten las señales de salida de las ocho fotocélulas en formas digitales para ser utilizadas por la CPU (microcontrolador).</p> <p>- Un microcontrolador (CPU) que es necesario para calcular y generar los impulsos de conmutación para producir ángulos de disparo apropiados para ocho interruptores de potencia controlados basados en las ocho señales de realimentación proporcionadas por las ocho fotocélulas.</p> <p>-Ocho interruptores de alimentación controlables (como Triac) que cortan la</p>	<p>Fueron instalados diferentes elementos y dispositivos de control con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica y mantener el confort visual, cada sistema se repite para las diferentes habitaciones y sala del edificio, enviando los datos al micro controlador para la toma de decisiones.</p>	<p><b>VARIABLES.</b></p> <p>- Intensidad lumínica. -Voltaje aplicado a las lámparas.</p> <p><b>PARÁMETROS.</b></p> <p>-luxes en las áreas de trabajo. - Niveles de reflectancia. - Irradiancia.</p> <p><b>ESCENARIO DE PRUEBA.</b></p> <p>Se considera un edificio de 7 habitaciones y una sala para realizar las pruebas experimentales, el consumo de energía de iluminación consta de 200W por habitación y cinco bombillas de 100 W en el vestíbulo.</p>
--	---	--	--

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	tensión de entrada CA en ángulos de disparo apropiados calculados y producidos por la CPU.		
<b>Resultados y conclusiones</b>			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
La aplicación de este micro controlador puede hacerse en todo tipo de edificios, gran parte de la energía eléctrica se convierte en energía de iluminación en estos edificios, por lo que puede reducir eficazmente el consumo de energía.		El consumo de energía eléctrica del edificio muestra un considerable ahorro de energía eléctrica de 302 kWh, aproximadamente un 27% en comparación con el consumo anterior.	

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### CONCLUSIONES.

- Identificar los componentes y automatismos involucrados en los sistemas de iluminación permite dimensionar su amplia aplicación de acuerdo a las características ambientales, su vida útil y funcionalidad en el espacio.
- Conocer las variables y parámetros implicados en el sistema de iluminación nos permite optimizar el consumo energético del espacio bajo análisis, teniendo en cuenta todo aquello que está adyacente o interactúa con el espacio y forma parte del sistema.
- La normatividad y reglamentación establecida para los sistemas de iluminación nos permiten limitar el diseño del sistema de iluminación, debido a que trasmite lo que está permitido o no en la instalación. También establecen los requerimientos de los componentes, para garantizar la seguridad del usuario, que es lo más importante a la hora de diseñar o efectuar una reparación o mejora. En ningún momento la aplicación de la norma garantiza el mínimo consumo de energía en el sistema de iluminación, para esto se deben adicionar estrategias de ahorro energético, cumpliendo los requerimientos técnicos de las normas.
- La investigación de estrategias de ahorro en sistemas de iluminación para edificaciones terciarias nos arroja resultados muy satisfactorios, demuestra el interés a nivel mundial por reducir el consumo de energía eléctrica en los sistemas de iluminación. Se descubre una amplia diversidad de componentes, automatismos y software dedicados únicamente a reducir dicho consumo. Además, se obtienen resultados reales con porcentajes de ahorro estimados dependiendo de la estrategia

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que se aplique. Al obtener estos porcentajes de ahorro podemos estimar de manera concisa y práctica las acciones correctivas que podemos aplicar en nuestro entorno de acuerdo a nuestro presupuesto, y así mejorar y optimizar el consumo energético de nuestros espacios de trabajo y esparcimiento, aumentando la productividad y el confort.

- Los costos de operación y ejecución de estas estrategias varían dependiendo de la estrategia que se aplique; es de esperarse un incremento en los costos si el espacio requiere de una reconversión tecnológica; sabiendo que los automatismos y componentes de alta eficiencia tienen un costo más elevado que los convencionales.
- Se resalta la importancia del aprovechamiento de la luz natural, lo que disminuye de manera significativa el uso de luz artificial en las horas de luz día.

#### **RECOMENDACIONES.**

- Es importante enfocarse más en nuestro país, las estrategias de ahorro en ejecución fueron realizadas por países desarrollados o en proceso de desarrollo, lo que demuestra que en Colombia todavía no se le da la importancia que merece el ahorro energético, debe evaluarse cómo pueden implementarse este tipo de acciones correctivas en nuestro entorno. Este trabajo muestra proyectos a nivel mundial, pero es importante resaltar la necesidad de aplicar estas estrategias en Colombia.
- La información certificada y confiable disponible es muy poca, se encuentran muchas restricciones para acceder a dicha información, por lo que se recomienda usar palabras clave y ahondar en la búsqueda para lograr encontrar lo que se desea.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**TRABAJO A FUTURO.**

- Se proyecta la implementación de una de las estrategias de ahorro que fueron previamente estudiadas y analizadas, se evaluará la viabilidad de cada una de estas pues se llevará a un caso real de prueba; deben descartarse aquellas estrategias donde se aplique una reconversión tecnológica debido a que no se cuenta con los recursos necesarios para su ejecución, es decir, la estrategia será seleccionada con base en la disponibilidad y características del espacio real donde será aplicada, y a los elementos que se encuentren disponibles en los laboratorios del ITM.

Al ejecutar la estrategia de ahorro, se tomarán en cuenta todas las variables, parámetros y componentes investigados en este trabajo, se pretende utilizar un software de simulación y evaluar los potenciales de ahorro energético usando como referencia el estado inicial del lugar donde se decida aplicarla.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Assaf, L., Colombo, E., & O'Donnell, B. (2006). Luminarias para Iluminación de Interiores. *Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente*.
- Atienza, M. (2013). Energía y Edificación.
- Campos, C. (2011). Diagnóstico energético en el sistema de iluminación.
- center for sustainable system. (2016). Commercial Buildings. *ASHRAE Journal*, 42(November), 4–5.
- Ciampi, G., Rosato, A., Scorpio, M., & Sibilio, S. (2015). Retrofitting Solutions for Energy Saving in a Historical Building Lighting System. *Energy Procedia*, 78, 2669–2674.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.343>
- Conejo, A. (2007). Luminotecnia. Dispositivos para el alumbrado incandescente y fluorescente. *Instalaciones Eléctricas*, 37. Retrieved from  
<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171721.pdf>
- Delvaeye, R., Ryckaert, W., Stroobant, L., Hanselaer, P., Klein, R., & Breesch, H. (2016). Analysis of energy savings of three daylight control systems in a school building by means of monitoring. *Energy and Buildings*, 127, 969–979.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.033>
- Donell, B. M. O., Sandoval, J. D., & Paukste, F. (2002). Fuentes Luminosas. *Iluminacion Eficiente*.
- Dubois, M., & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European , low energy office buildings : A literature review. *Energy & Buildings*, 43(10), 2572–2582.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.001>
- Fathabadi, H. (2014). Ultra high benefits system for electric energy saving and management of lighting energy in buildings. *Energy Conversion and Management*, 80, 543–549.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.002>
- Fox, R. (1883). Electricidad y sociedad. *Historia*, 1–18.
- General, A., & Contenido, T. D. E. (2013). Anexo general del retie resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes.
- Gentile, N., Laike, T., & Dubois, M. C. (2016). Lighting control systems in individual offices rooms at high latitude: Measurements of electricity savings and occupants' satisfaction. *Solar Energy*,

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

127, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.053>

Hong, T., Piette, M., Chen, Y., Lee, S., Taylor-Lange, S., Zhang, R., & Price, P. (2015). Commercial building energy saver: an energy retrofit analysis toolkit. *Applied Energy*.

IDAE, I. para la D. y A. de la E. (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, 100.

Ing. Ramírez, A., Ganslandt, R., Hofmann, H., INTECO, Comunidad de Madrid, Ing. Ramírez, A., ... Walerczyk, S. (2014). Lighting & Controls. *Intelligent Energy Europe*, 2(506), 1–25.

Kissell, T. E. (2008). *Electricity, electronics and control systems for HVAC*.

Kumar, P., & Vishwas, M. (2013). Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design. *Energy & Buildings*, 66, 329–337.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.039>

Li, D. H. W., Cheung, A. C. K., Chow, S. K. H., & Lee, E. W. M. (2014). Study of daylight data and lighting energy savings for atrium corridors with lighting dimming controls. *Energy and Buildings*, 72(February 2012), 457–464.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.027>

Liu, J., Zhang, W., Chu, X., & Liu, Y. (2016). Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight. *Energy and Buildings*, 127, 95–104.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.066>

Ministerio de Minas y Energía. (2010). Resolución Número 180540 De 2010, 243.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

New Buildings Institute. (2012). Managing Your Office Equipment Plug Load, 1–8.

Nicolas, L. (2012). Estrategias Ahorro Energético.

Regnier, C., & Martinez, V. (2015). 2030 District Program and Small Commercial Toolkit.

Roisin, B., Bodart, M., Deneyer, A., & Herdt, P. D. (2008). Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption, 40, 514–523.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.006>

Sistemas De Iluminación. (n.d.), 6–31.

Superior, E. P., Carlos, J., & Prada, G. (2011). Departamento de Ingeniería Mecánica Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general.

Tilley, R. J. D. (2010). *Colour and the Optical Properties of Materials*.  
<https://doi.org/10.1002/9780470974773>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Turner, W. C. (2007). *Energy Management Handbook* (Sixth Edit).

U.S Energy Information Administration. (2016). Building Type Definitions.

Xu, L., Pan, Y., Yao, Y., Cai, D., Huang, Z., & Linder, N. (2017). Lighting energy efficiency in offices under different control strategies. *Energy & Buildings*, 138, 127–139.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.006>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Alejandro Ochoa.*

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_

*Juan Fernando Abadía*  
Informe final  
12/10/2017

RMA ASESOR \_\_\_\_\_

*J. Ochoa*  
Informe final  
12/10/2017

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: 12 de octubre de 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____