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

Metodología de diseño de sistemas residenciales de iluminación considerando aspectos técnico-económicos empleando el software especializado DIALUX evo

Jonathan Zuleta Gómez
Tecnología electromecánica

Director(es) del trabajo de grado:
Luis Fernando Grisales Noreña-ITM
Oscar Danilo Montoya Giraldo-UTB

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
18 de octubre de 2109

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

RESUMEN

Este proyecto de grado presenta una metodología de diseño para sistemas de iluminación residenciales, basada en el software especializado DIALux evo. La cual entrega, los pasos a seguir para calcular, diseñar y visualizar un proyecto de iluminación de una edificación residencial, respetando la normatividad técnica aplicada en Colombia, RETILAP. Esta metodología presenta como objetivo principal, seleccionar la tecnología de iluminación que represente los menores costos de inversión y operación durante la vida útil de los dispositivos de iluminación. Como escenario de prueba es empleada una unidad residencial estrato 2 del municipio de Itagüí, empleando tres tipos tecnologías de iluminación diferentes, altamente utilizadas en el territorio nacional: bombillas incandescentes, tecnología Toledo led y las luminarias Sylvania led mini continuum. Para el cálculo de los costos asociados a la implementación de cada una de las tecnologías, fue empleada una formulación matemática que considera los costos de inversión inicial, remplazo de luminarias y costos de operación, empleando los costos de energía reportados por el operador de red local. Los resultados obtenidos por este proyecto de investigación permiten obtener el tipo de luminaria que presenta los menores costos totales para el diseño del sistema de iluminación, respetando los diferentes niveles de iluminación impuestos por el RETILAP para una unidad residencial.

Palabras clave: Diseño de sistemas de iluminación, DIALux evo, Costos de operación e inversión, uso racional de la energía.

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

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la vida por tener la oportunidad de llegar hasta este punto y culminar uno de los grandes objetivos propuestos.

A mi esposa Ing. Inti Montoya por encaminarme a seguir con mis estudios después de tanto tiempo y acompañarme en cada reto que trajo este, además adentrarme al mundo de la ingeniería.

A mis padres y familiares por las bases sólidas que me entregaron las cuales día a día me ayudan a crecer y ser mejor persona.

Al docente Luis Fernando Grisales por su gran apoyo, paciencia ayuda incondicional y su gran dedicación a la vocación de enseñar.

A todos los docentes y compañeros los cuales conocí en este proceso.

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

ACRÓNIMOS

RETILAP *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.*

IESNA *Illuminating engineering society of North America (Sociedad de ingenieros en iluminación de Norteamérica).*

LED *Light Emitting Diode (diodo emisor de luz).*

URE *Uso racional de energía.*

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

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	6
1.1	Objetivo general.....	8
1.2	Objetivos específicos.....	8
2.	Marco teórico.....	10
2.1	Sistemas de iluminación.....	10
2.1.1	Sistemas de iluminación residencial y componentes.....	10
2.1.2	Principales tipos de luminarias empleadas en los sistemas de iluminación residencial.....	10
2.2	Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP.....	11
2.3	Software especializado DIALux evo.....	12
2.4	Estrategias de análisis de consumo energético.....	13
3.	Metodología.....	14
3.1	Levantamiento de planos arquitectónicos de la unidad residencial.....	14
3.2	Selección de bombillas y luminarias.....	16
3.3	Norma técnica para la iluminación residencial aplicada en Colombia.....	18
3.4	Implementación del software DIALux evo.....	21
3.5	Integración y validación de cumplimiento del RETILAP en el hardware DIALux evo.....	27
4.	Resultados y discusión.....	33
4.1.	Diseño de iluminación empleando software especializado DIALux evo.....	33
4.2	Consumo de potencia de la residencia y costo asociando cada tipo de iluminación empleada.....	38
5.	Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro.....	43
6.	Referencias.....	45
7	Apéndice.....	48

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

Listado de figuras.

Figura 1.	Ubicación de la vivienda por manzanas (plano aéreo).....	14
Figura 2.	Diseño realizado en software AutoCAD 2018 de la unidad residencial piso3.....	15
Figura 3.	Diseño realizado en software AutoCAD 2018 de la unidad residencial mansarda.....	16
Figura 4.	Montaje de la edificación en el software especializado DIALux evo.....	21
Figura 5.	Imagen 2D del software DIALux evo.....	22
Figura 6.	Dibujo exterior edificio.....	22
Figura 7.	Formato vistas.....	23
Figura 8.	Separado de áreas por salas.....	23
Figura 9.	Vista edificación 3D.....	24
Figura 10.	Edificación separada por locales.....	25
Figura 11.	Barra de opciones para el diseño arquitectónico en 3D.....	26
Figura 12.	Diseño terminado en DIALux evo del tercer piso.....	27
Figura 13.	Habitación principal diseñada en software DIALux evo	28
Figura 14.	Selección de casilla y cantidad de lumens	29
Figura 15.	Flujo luminoso.....	30
Figura 16.	Disposición automática.....	30
Figura 17.	Calculador estimativo.....	31
Figura 18.	Satisfacción de valores.....	32
Figura 19.	Resultados proyecto habitación.....	32
Figura 20.	Diseño en software especializado DIALux evo con bombillas incandescentes.....	33
Figura 21.	Diseño en software especializado DIALux evo con tecnología sylvania Toledo led.....	34

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

Figura 22. Diseño en software especializado DIALux evo con tecnología luminaria.. 35

Figura 23. Factor de utilización día promedio año..... 41

Listado de tablas.

Tabla 1. Tipos de bombillas y luminarias seleccionadas..... 19

Tabla 2. Niveles de iluminación requeridos por RETILAP..... 21

Tabla 3. Niveles de iluminación requeridos por la IESNA..... 21

Tabla 4. Cantidad de luminarias usadas y consumo..... 37

Tabla 5. Cantidad de luxes otorgados por DIALux evo..... 38

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

Apéndice.

Apéndice A	Datos técnicos luminaria sylvania LED minicontinuum.....	50
Apéndice B	Datos técnicos luminaria sylvania LED Toledo.....	51

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

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación son un conjunto de elementos diseñados para proporcionar una visibilidad clara y los aspectos estéticos requeridos en un espacio. En el mundo la iluminación consume el 19% de la electricidad generada, y la iluminación residencial en Colombia consume el 14.89% de electricidad, porcentaje el cual puede ser reducido con un correcto diseño, utilizando dispositivos de iluminación eficientes desde el punto de vista energético (VASQUEZ, 2017).

Al llevar a cabo un proyecto de diseño de iluminación se deben enfrentar varios retos y analizar diferentes variables, como es el caso del análisis del espacio y sus requerimientos, la selección de los dispositivos de iluminación, el comportamiento en demanda de energía de los usuarios y los requerimientos técnicos a cumplir, en el caso colombiano impuestos por el RETILAP (Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, 2013). Adicionalmente, cada vez vemos tecnologías más eficientes aportando mayor cantidad de lumen a menor costo de consumo energético, con tiempos de vida útil más extensas y algunos incluso con procesos de cambio de luz durante el día y las estaciones del año, lo cual hace replantear las metodologías y diseños de iluminación actuales. Una adecuada metodología de diseño otorga las bases suficientes para realizar una correcta distribución lumínica residencial, siguiendo la norma (RETILAP), seleccionando la tecnología de iluminación más adecuada en términos de consumo eléctrico. Adicionalmente, en los últimos años se ha potencializado el uso software especializado DIALux evo para el diseño de sistemas de iluminación, el cual es una herramienta libre, altamente empleada para la validación técnica de las restricciones lumínicas en espacios interiores y exteriores, los cuales pueden ser edificios, locales comerciales, oficinas, carreteras entre otros.

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

. Reconociendo la necesidad de plantear una metodología eficiente para el diseño de sistemas de iluminación, y la importancia del uso del software especializado DIALux evo para validar los requerimientos técnicos de dichos sistemas de iluminación, en este proyecto de investigación fueron propuestos los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo General:

Proponer una metodología para el diseño de sistemas de iluminación residenciales empleando el software especializado DIALux evo que considere los costos de inversión y cumpla con el RETILAP.

1.2 Objetivos específicos:

- Identificar y seleccionar la normatividad aplicada dentro del Retilap para instalaciones eléctricas residenciales.
- Realizar un análisis de los tipos de luminarias más empleadas comercialmente para la iluminación residencial en Colombia.
- Emplear o proponer una metodología para realizar el diseño de sistemas de iluminación residenciales empleando el software especializado DIALux evo.
- Proponer una estrategia para el análisis de la factibilidad económica de los costos de inversión del diseño realizado.
- Evaluar y seleccionar un diseño de iluminación en un escenario de prueba propuesto.

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

Este trabajo se encuentra organizado en 7 secciones: la sección 2 contiene el marco teórico donde se presentan todos los conceptos y definiciones necesarias para comprender la estrategia de diseño de iluminación propuesta en este trabajo. En la sección tres se muestra la metodología a seguir para cumplir cada uno de los objetivos específicos propuestos, también contiene las normas dentro de Retilap a seguir para realizar un adecuado diseño de iluminación en edificaciones residenciales, posteriormente se realiza un estudio de campo para seleccionar las tecnologías de iluminación más empleadas actualmente en Colombia; como también la metodología planteada para emplear el software DIALux Evo. En la sección 4 realiza un análisis económico de las diferentes tecnologías de iluminación seleccionadas y valida dicha metodología con diferentes ecuaciones para encontrar cual luminaria cumple con la eficiencia necesaria. Finalmente, las secciones 5,6 y 7 presentan las conclusiones y trabajos futuros, referencias y apéndices.

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

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de iluminación.

2.1.1 Sistema de iluminación residencial y componentes.

Un sistema de iluminación es un conjunto de elementos, diseñados para proporcionar un adecuado ambiente y una visibilidad clara, de acuerdo con los aspectos estéticos y técnicos requeridos en un espacio en particular. Esto se realiza seleccionando las lámparas y luminarias que proporcionen los niveles óptimos de iluminación para el espacio en análisis y los mayores niveles de ahorro en el consumo de energía (Ptolomeo UNAM).

Un sistema de iluminación se compone de los siguientes elementos:

Lámparas: son las encargadas de transformar la energía eléctrica en luminosa.

Luminarias: son los gabinetes que contienen las lámparas y en algunos casos también los balastos.

Dispositivos de control: son dispositivos como fotoceldas, controladores de tiempo, sensores de movimiento etc.

2.1.2 Principales tipos de luminarias empleadas en los sistemas de iluminación residencial.

En el mercado colombiano las luminarias más comunes encontradas son: Incandescentes, fluorescentes ahorradores y las nuevas usan tecnología LED

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

(Light emitting diode). En Colombia los hogares de estratos bajos en su mayoría suelen usar las bombillas incandescentes por su bajo costo en el mercado, sin embargo el decreto 3450 del primero de enero del 2011, da a constar que a partir de dicha fecha, no se permitirá la importación, comercialización y utilización de fuentes de baja eficacia lumínica, para ese entonces el gobierno y la unidad de planeación minero energética (UPME) tenían la misión de cambiar 48 millones de bombillas incandescentes la mayoría en estratos bajos, pues los de clase media y alta ya descubrían el impacto en la factura de energía del tipo de tecnología empleada (Redaccion el tiempo, 2009).

Actualmente la tecnología LED, está en su auge, debido a que cada vez más compañías llegan al país con esta tecnología a menores costos, favoreciendo a los usuarios con su cantidad de horas de vida útil, y su mejora en eficiencia energética, al entregar muchos más lumens con menos consumo energético.

2.2 Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público: RETILAP

El Retilap se encuentra basado en el reglamento americano (IESNA) (America, 1906), el cual señala las exigencias y especificaciones para que las instalaciones de iluminación garanticen la seguridad ahorro y confort en base a un buen diseño y desempeño operacional de los elementos (Eco lite, 2016). Este reglamento aplica a toda instalación de iluminación o alumbrado privado y público construida, ampliada o remodelada a partir de su entrada en vigencia (Lenor, 2016).

A partir del 1 de abril del año 2010 comenzó a regir este reglamento en la resolución 180540, estatuto expedido por el ministerio de minas y energía, para las empresas que trabajan en el sector de la iluminación y el alumbrado público; como base para el correcto cumplimiento en los niveles y calidades de la energía lumínica requerida

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

en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento, protección del consumidor y compromiso del medio ambiente (Lenor, 2016). Además de estar en conjunto a la ley 697 de 2001, uso racional y eficiente de la energía (URE) la cual decreta como asunto de interés social, público y de convivencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la protección del consumidor y promoción del uso de energía no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente (Congreso de Colombia, 2001).

2.3 Software especializado DIALux evo.

Es un software gratuito utilizado para diseñar, calcular y visualizar la luz de forma profesional, aplicable en espacios simples, pisos enteros, edificios y escenas exteriores. También es el desarrollador de herramientas para proyectistas enfocados en luz, actualmente se ubica como una de las soluciones preferidas por los especialistas para la planeación de sistemas de iluminación y cuenta con más de 700 mil usuarios, disponible en 25 idiomas diferentes (Illuminet, 2018).

Las normativas en la eficiencia y el confort en el diseño de instalaciones eléctricas realzan la importancia de la luz como uno de los elementos más relevantes. En este contexto se hace obligatoria la planificación lumínica de cada espacio, la cual se puede obtener del software especializado DIALux evo, el cual permite la planificación profesional de sistemas de iluminación, siendo compatible con software especializados en diseño arquitectónico como AUTOCAD. Este software permite planificar edificios completos, mejoras en edificaciones ya construidas, texturas y muebles realistas además de imágenes fotorrealistas las cuales se pueden exportar o imprimir.

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

2.4 Estrategias de análisis de consumo energético

la ley de uso racional de la energía (URE), es la ley 697 creada el 3 de octubre de 2001, la cual declaro el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de convivencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno. Esta tiene por objetivo aprovechar al máximo la energía, sin perder la calidad de vida que nos brindan los servicios que recibimos de ella. La idea de esta es seguir utilizando los dispositivos que necesiten energía para funcionar, pero reduciendo el derroche y la producción de desechos contaminantes. Si todo el país pusiera en práctica el URE, se lograría un gran impacto social, con múltiples beneficios económicos y ambientales.

Las estrategias URE, nacen como un pilar para el desarrollo sostenible del planeta, no solo como ley de racionalización de energía sino también como elemento para proteger y preservar el medio ambiente, aplicándose desde la selección de la fuente de energía, transformación de la materia prima, transporte, distribución e inclusive el reciclaje de desechos (Congreso de Colombia, 2001).

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

3. METODOLOGÍA

A continuación, se presentarán los pasos elementales para llevar a cabo la metodología de diseño de un sistema de iluminación residencial en el software especializado DIALux evo. En este documento se tomó como caso base una unidad residencial de dos pisos de estrato 2, ubicada en la ciudad de Itagüí-Antioquia.

3.1 Levantamiento de planos arquitectónico de la unidad residencial.

Antes de iniciar con el proceso de diseño del sistema de iluminación, es necesario realizar el levantamiento de los planos arquitectónicos del espacio a diseñar. Para lo cual es empleado el software especializado AUTOCAD. En este proyecto, se levantaron los planos arquitectónicos de una residencia estrato 2, ubicada en el barrio la aldea de Itagüí piso 3 y mansarda, con un área total de $60m^2$. La figura 1 presenta la ubicación actual de la vivienda.

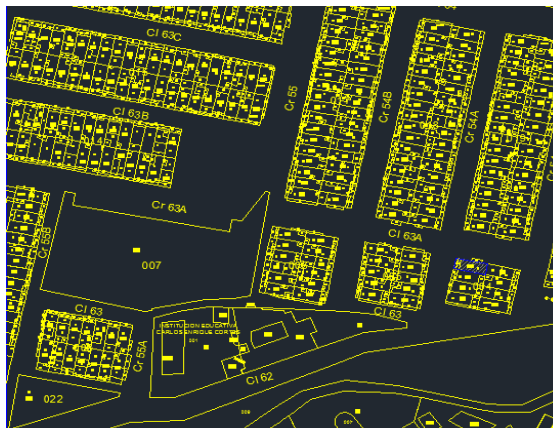


Figura 1. Ubicación de la vivienda por manzanas (plano aéreo).

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

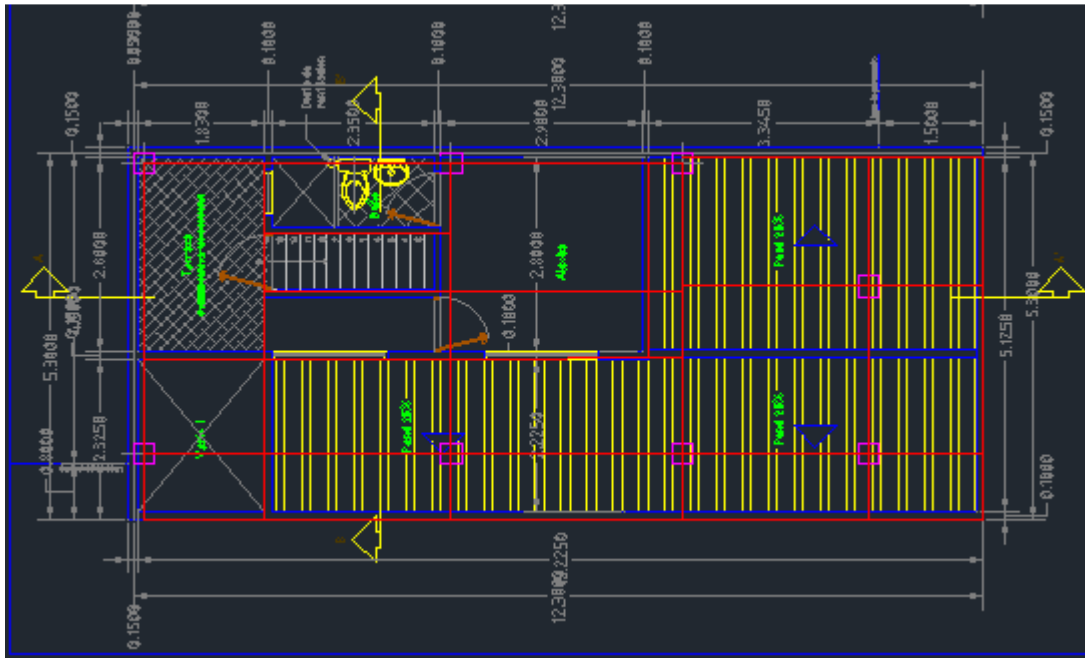


Figura 3. Diseño realizado en software AutoCAD 2018 de la unidad residencial mansarda.

Es importante antes de realizar el diseño del sistema de iluminación en el software especializado DIALux evo, reconocer y seleccionar el tipo de iluminación a instalar y la norma que aplica en cada espacio contenido dentro de la unidad residencial; lo cual se describe a continuación.

3.2 Selección de bombillas Y luminarias.

En este proyecto fueron seleccionadas 2 tipos diferentes de bombillas y una luminaria. Empleando como criterio de selección el fácil acceso para el consumidor, siendo seleccionadas las más comerciales y fáciles de conseguir en el mercado nacional. Las cuales, son descritas a continuación:

Bombilla incandescente: se denomina bombilla incandescente al dispositivo que emite luz mediante el calentamiento de un filamento metálico, hasta ponerlo al rojo blanco mediante

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

el paso de corriente eléctrica. La más común en las residencias colombianas es la de 100 W, la cual utilizaremos en este proyecto (Ecu Red, s.f.). El costo de inversión de cada bombilla es de \$2.000 pesos colombianos en el mercado nacional y su promedio de vida útil es de 1200 horas, esto debido a la obsolescencia programada (Estevez, 2012) .

Sylvania led bulbo Toledo: bombilla LED (light Emitting Diode) traducido al español diodo emisor de luz. Se trata de un cuerpo semiconductor solido de gran resistencia, que al recibir una corriente eléctrica de baja intensidad, emite luz de forma eficiente y con alto rendimiento (Sylvania, 2011). El costo de inversión es de \$15.000 pesos colombianos.

Características:

- Bombilla LED en formato bulbo para iluminación doméstica, su tecnología y diseño proporciona una mejor iluminación interior.
- Ahorra hasta el 90% de energía comparado con bombillas incandescentes.
- Cuerpo con acabado opalizado.
- Tipo de distribución directo simétrico.

Sylvania led mini continuum: conocida como luminaria lineal LED con driver independiente, distribución de luz homogénea sin sombras, proporciona un sistema de iluminación limpio y sencillo (Sylvania, 2011). El costo de inversión es de \$60.000 pesos colombianos.

Características:

- Diseño moderno y compacto.
- Perfil de aluminio extruido con acabado en pintura electroestática poliéster.

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

Finalmente, la tabla 1 presenta los datos técnicos de las bombillas y luminarias seleccionadas, presentando de izquierda a derecha: el tipo de luminaria, el nivel de flujo luminoso (lm), el consumo de energía en W/h, las horas de vida útil y el costo asociado en el mercado nacional.

Tabla 1. Tipos de bombillas y luminarias seleccionadas

Tipo	Flujo luminoso [lm]	Consumo [W/h]	Vida útil [h]	Costo pesos colombianos
incandescente	1600	100	1200	2.000
Sylvania led bulbo P27618	606	7,4	15,000	15.000
Sylvania led mini continuum	3000	40	35,000	60.000

3.3 Norma técnica para iluminación residencial aplicada en Colombia para unidades residenciales.

Para realizar un diseño de iluminación que cumpla con la normatividad colombiana, es necesario emplear el Reglamento Técnico de iluminación y alumbrado público-RETILAP, el cual se define a continuación:

RETILAP : establece los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público en Colombia, con los objetivos de garantizar los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente

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

(Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013).Es importante identificar que en el capítulo 4 del reglamento técnico encontraremos los diseños y cálculos de iluminación para los sistemas de iluminación residencial, analizados en este proyecto de grado.

Para los lugares o espacios que no se encuentran considerados dentro del RETILAP, se deberán aplicar los valores establecidos en la norma IESNA (Illuminating Engineering society of North America) (America, 1906); siendo esta la norma americana en la cual basaron en Colombia para crear la RETILAP. En el caso que el espacio a iluminar no esté establecido en ninguno de los dos reglamentos, el diseñador con criterio profesional podrá escoger los niveles de iluminación del espacio existente que más similitud tenga con la zona en análisis (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013).

Adicionalmente, la sección 410 del capítulo 4 de Retilap la cual establece los requisitos generales del diseño de alumbrado interior también hace referencia a los valores permitidos de deslumbramiento (UGR), el cual es el índice de deslumbramiento unificado, es un valor, un parámetro que nos da información sobre el grado de deslumbramiento provocado por una lampara en un espacio cerrado. Este valor se define por una escala que va desde 10 a 30. El cual fue considerado como requerimiento técnico a satisfacer en este proyecto de investigación. El deslumbramiento es un problema común en entornos de trabajo donde el espacio es acogedor y la luz excesivamente fuerte las cuales se reflejan en superficies como pantallas de ordenadores, pizarras, ventanas, causando malestar y produciendo dolores de cabeza y problemas oculares. El sistema UGR simplifica en gran medida la elección de luminarias, ya que permite automatizar el cálculo en el software de cálculo luminotécnico o seleccionar la luminaria mediante la tabla UGR (Requejo, 2019).

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

En ningún momento durante el proyecto la iluminancia promedio podrá ser superior al valor máximo o inferior al valor mínimo establecido en la tabla 2, para este proyecto de investigación fue utilizado el nivel medio. En la tabla 2 se muestran los niveles de iluminación según reglamento RETILAP. Tomada de tabla 410.1 Índice UGR máximo y niveles iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades (America, 1906).

Tabla 2. Niveles de iluminación requeridos por RETILAP

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)			(UGR)
	Mínimo	Medio	Máximo	
Áreas generales en las edificaciones				Medio
Áreas de circulación, corredores	50	100	150	28
Escaleras, escaleras mecánicas	100	150	200	25
Vestidores, baños	100	150	200	25
Almacenes, bodegas	100	150	200	25

Adicionalmente, la tabla 3 presenta los niveles de iluminación de los espacios de trabajo que no son considerados dentro del RETILAP, los cuales fueron basados en la norma IESNA.

Tabla 3. Niveles de iluminación requeridos por el reglamento IESNA [IESNA].

Áreas generales en las edificaciones	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)			(UGR)
	Mínimo	Medio	Máximo	
Dormitorios, habitaciones	200	250	300	22
Cocina	300	450	700	28
Oficina, estudio	300	350	500	28

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

3.4 Implementación del software DIALux EVO.

Conociendo la distribución de los espacios de la unidad residencial, los sistemas de iluminación a instalar y los niveles de iluminación permitidos para este tipo de espacios, se procede a realizar el diseño del sistema de iluminación en el software DIALux evo. Es importante resaltar que la metodología de diseño es igual para todos los tipos de luminarias y bombillas seleccionadas en este documento como casos de prueba.

La figura 4 nos enseña la primera opción para trabajar con el software DIALux evo, este permite trabajar tanto interiores como exteriores. En nuestro caso el diseño a realizar es un espacio residencial. Es importante tener previamente los planos arquitectónicos listos en el software AutoCAD y elegir la opción importación de plano o IFC como lo muestra la figura 4.

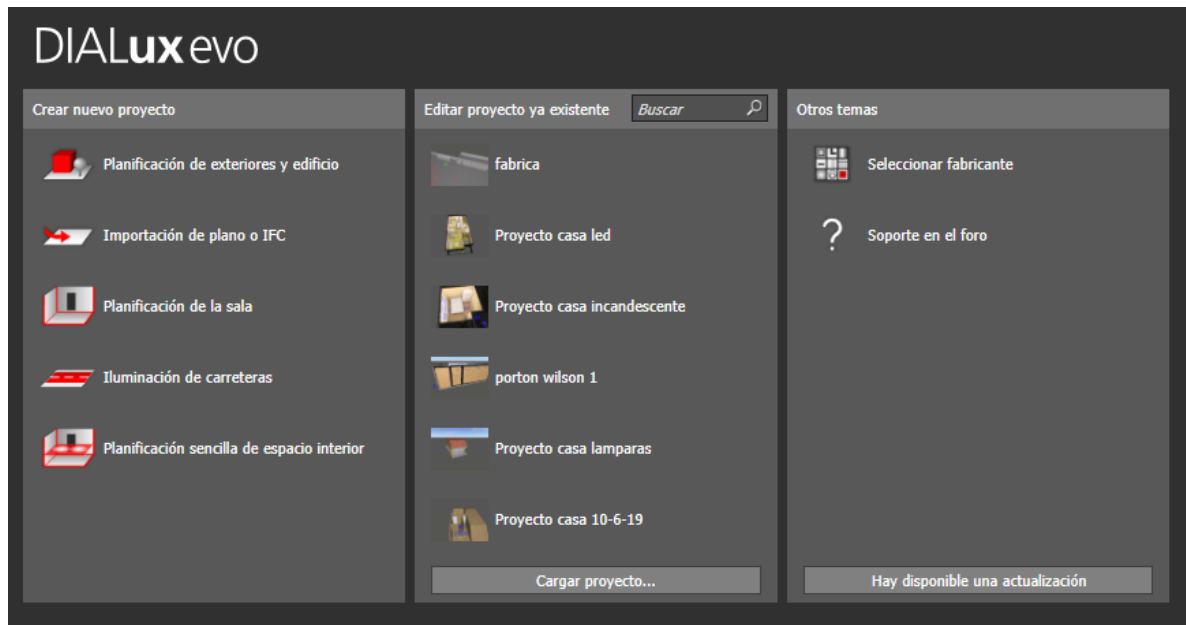


Figura 4. Montaje de la edificación en el software especializado DIALUX EVO.

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

En la siguiente figura se muestra la forma en que queda la imagen de la edificación después de importar la imagen desde el software AutoCAD a DIALux evo, teniendo en cuenta que los colores y el tamaño de las letras llegan en el mismo formato de AutoCAD, razón por la cual no se asimila el nombre de cada espacio en la figura 4; además la visualización de la imagen por defecto solo es permitida en formato 2D.

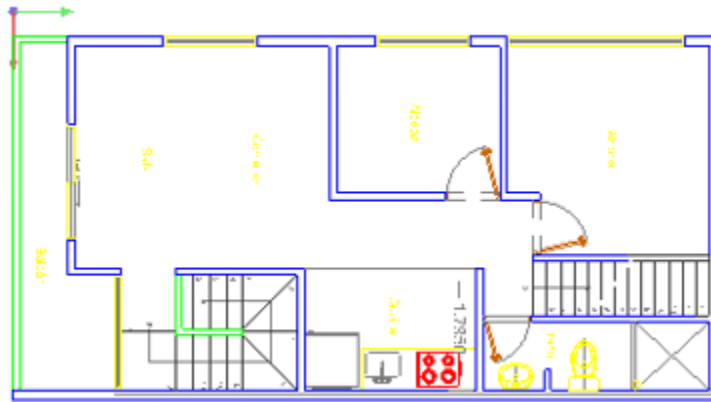


Figura 5. Imagen 2D del software DIALux evo.

En la parte superior izquierda de la pantalla se encuentra la opción que se muestra en la Figura 6, la cual nos permite dibujar el terreno o señalar la parte exterior de nuestra edificación, la seleccionamos y dibujamos el contorno externo del edificio, Esta nos delimita tanto el terreno exterior como los muros externos, también elegir la altura del edificio y permitiendo además la visualización en tercera dimensión.

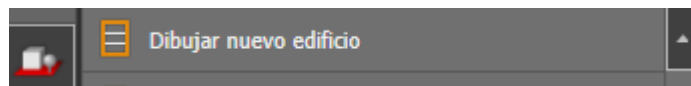


Figura 6. Dibujo exterior edificio.

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

El software en cada paso que hacemos una sala nueva o encerramos un espacio con muros, va nombrando cada zona, la cual podríamos seleccionar para tener vista individual de esta ya sea en formato 2D y en 3D, también se puede visualizar acotada como llega en el formato de AutoCAD, brindando la posibilidad de observar la estructura de forma lateral, y de frente. La opción terreno 1 nos muestra el área de tierra en la cual estamos construyendo, la edificación 1 nos muestra la residencia completa pero solo la parte exterior, y la opción planta detalla cada piso en caso de que la edificación sea de 2 o más pisos. Las opciones antes descritas se presentan en la figura 7.



Figura 7. Formato vistas.

En el siguiente paso elegimos la opción construcción de plantas y edificios y dibujar nueva sala (ver figura 8), con este paso y el plano 2D que importamos de AutoCAD vamos delineando cada uno de las habitaciones, automáticamente la edificación que solo era un cubo, por tener delineado solo el exterior, comienza a verse con aberturas de cada sala, es importante tener en cuenta que en algunas partes es necesario hacer aberturas porque algunas salas no son cerradas completamente. Para que cada espacio pueda ser analizado de manera individual, es necesario que cuando trazamos, el punto final llegue al punto de inicio del espacio a dibujar.

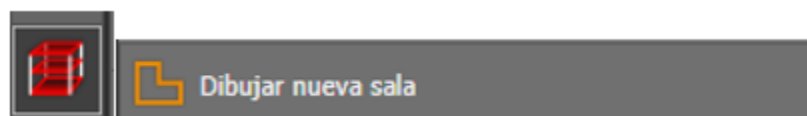


Figura 8. Separado de áreas por salas

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

En la figura 9. Tenemos la vista de la edificación en formato 3D, en esta se puede observar la estructura y la abertura realizada para una habitación del conjunto residencial. Cuando dibujamos cada espacio dentro del software, automáticamente aparece una ventana de opciones en la cual le damos el nombre, también podemos agregar una descripción en caso de ser necesario, la altura y el espesor del suelo. Cuando se le da clic a la opción crear outputs el software guarda los datos para cuando se finaliza el proyecto tener los documentos listos para la impresión con plantillas.

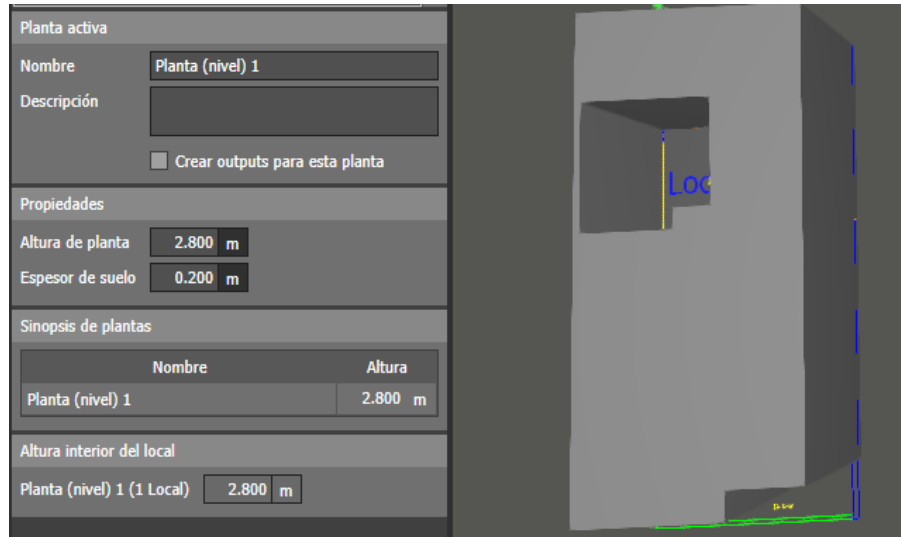


Figura 9. Vista edificación 3D

Después de demarcar cada uno de los espacios de la unidad residencial, el software demarca cada uno como “local”, asignando un número diferente a cada espacio o local diferente. En este proyecto se le otorgo a cada espacio su respectivo nombre, además de las especificaciones de altura de la edificación y cantidad de lumínica necesaria por sala que será demostrada en pasos siguientes.

La figura 10 muestra en formato 3D de la edificación con los diferentes locales establecidos para el piso 3, se puede observar las líneas de las imágenes importadas desde el software

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

AutoCAD en el fondo de los diferentes locales, esto no afecta el diseño de iluminación. El espacio de la parte de atrás se mantiene sellado ya que este espacio será ocupado por el segundo piso de la edificación, y solo se construirá sobre la mansarda.

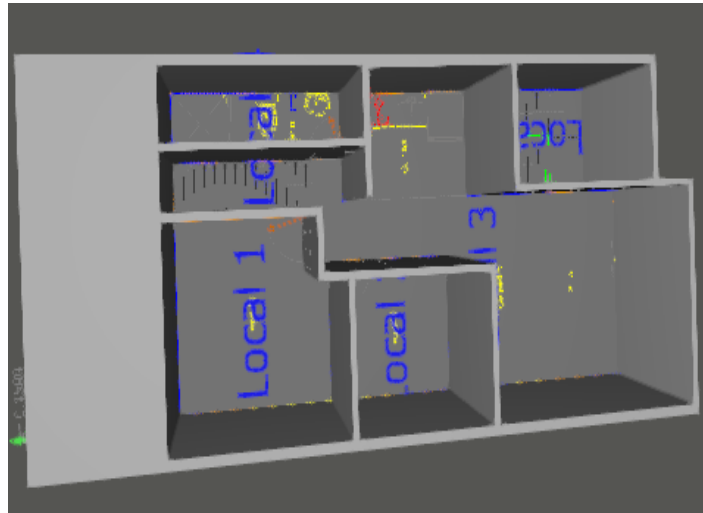


Figura 10. Edificación separada por locales.

En la figura 11 se presenta la barra de opciones de construcción para los diferentes locales establecidos en los pasos anteriores, esta barra de opciones permite terminar todo lo relacionado con el diseño estructural del trabajo. Con esta herramientas se adiciona al diseño 3d las puertas y ventanas, que se encuentran en catálogos con diseños de interiores y exteriores, lo único que se debe modificar es el tamaño de acuerdo con la habitación o espacio de los muros. También existen escalas predeterminadas, pero para este caso no fueron útiles ya que le mayoría estaban en espiral, el diseño de estas se realizó moldeando un elemento de extrusión, realizando peldaño por peldaño; modificando la posición de la altura de cada uno y usando la vista lateral de la edificación.

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



Figura 11. Barra de opciones para diseño arquitectónico en 3D.

Finalmente, en la figura 12 se presenta el diseño del tercer piso elaborado con el software DIALux evo, utilizando las herramientas de construcción. En esta figura cada espacio esta demarcado con su respectivo nombre, con las medidas entregadas por el archivo suministrado por el software AutoCAD. Adicionalmente, dentro del diseño 3D, se hizo uso de elementos de ambiente como sillas, camas, closet, y objetos para el baño. Para colorear las paredes y el piso se utiliza la opción material, el software tiene internamente un catálogo para usar colores o también se pueden descargar desde internet.

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



Figura 12. Diseño terminado en DIALux evo tercer piso.

3.5 Integración y validación de cumplimiento del Retilap en el hardware DIALux evo.

En esta sección, se validara el cumplimiento de cantidad de luxes requeridos en una habitación realizada en el software DIALux evo, con el reglamento IESNA (America, 1906) (ver tabla 3), la cual es la norma americana de la que se extrajo información para crear nuestro reglamento RETILAP (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013) (ver tabla 2), ya que en este no registra el valor a ser utilizado en este espacio.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La habitación principal cuenta con una medida de 3 metros cuadrados, y una ventana, las ventanas son también elementos usados para manejar la cantidad de luxes que nos llegan a través de la luz solar para estos espacios, pero en nuestro estudio solo tomaremos valores entregados por lámparas y luminarias para tener el consumo eléctrico total de la edificación.

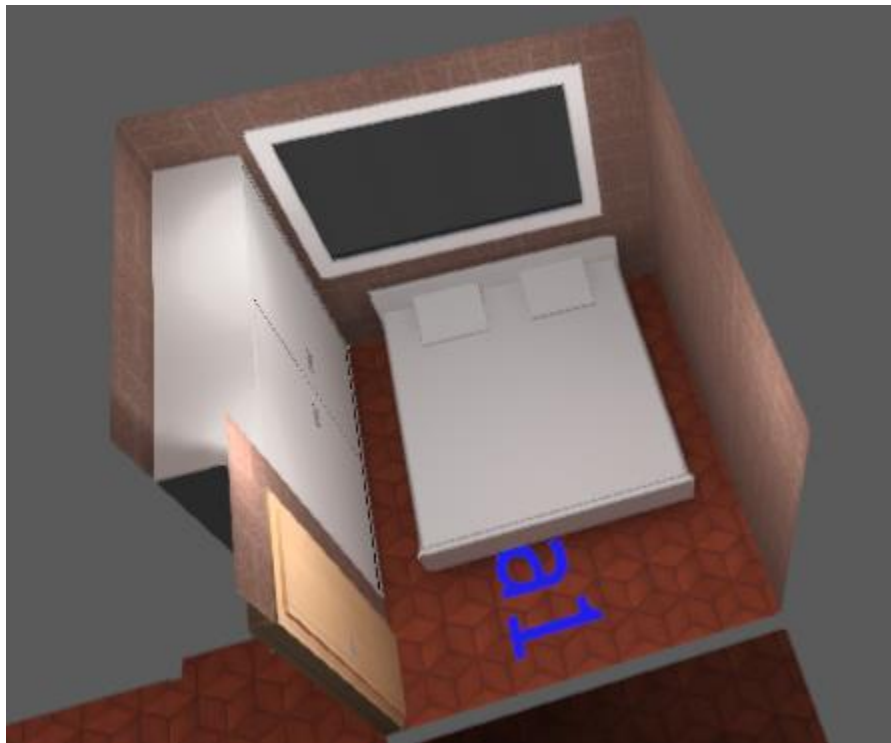


Figura 13. Habitación principal diseñada en software DIALux evo

Al referirnos a la tabla 3, notamos que la norma IESNA (America, 1906) otorga tres valores diferentes, los cuales son la cantidad mínima, máxima y media de luxes necesarios para esta habitación. En esta tesis trabajaremos con los valores medios que para este caso serían de 250 luxes.

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

Para realizar la asignación de luminarias al espacio bajo análisis, primero debemos seleccionar la opción construcción, seguido por la opción áreas; seleccionando en espacio al cual se le realizara el análisis, en este caso habitación principal. En la parte inferior izquierda tenemos la opción edición, donde aparecerá una ventana la cual corresponde a la figura 14. En el perfil de uso elegimos que el espacio es una sala de descanso, automáticamente el software nos otorga valores predeterminados, que corresponden a la norma con la cual viene el DIALux evo; la cual editamos con los valores medios de iluminación correspondiente al espacio bajo análisis. Con este paso el software ya tiene predeterminado la cantidad de luxes requeridos para el momento de la instalación de luminarias y que cantidad serían necesarias.

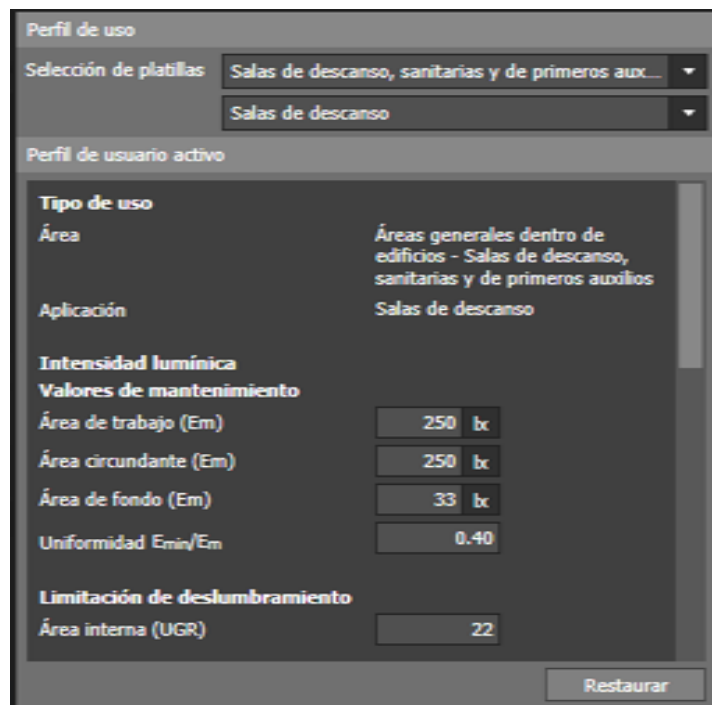


Figura 14. Selección de casilla y cantidad de lumens a disponer.

El siguiente paso es la selección de lámparas o luminarias, en este caso trabajaremos con luminarias incandescentes. Como en el hardware DIALux evo no se encuentran las bombillas

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

incandescentes, lo primero es seleccionar una bombilla que ya tengamos descargada y le modificamos sus valores de consumo y cantidad de lumens que otorgan. Lo primero que debemos hacer es dar clic a la opción luz la cual se encuentra en el panel superior, y en la parte izquierda señalamos el icono de luminarias. En nuestro caso será seleccionada la luminaria Sylvania previamente descargada y cambiamos los datos luminotécnicos con los valores contemplados en la (Tabla 1).

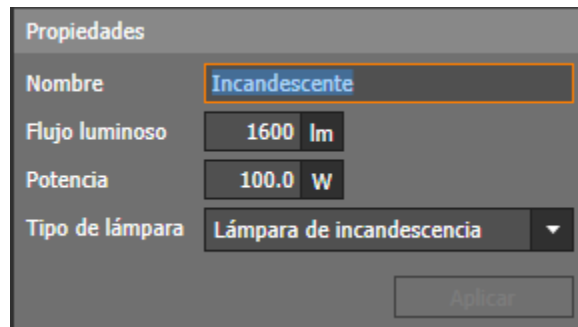


Figura 15. Flujo luminoso.

En la misma opción de luminarias encontramos el icono disposición automática para áreas cuando le damos clic debemos seleccionar el área o sección en la cual vamos a trabajar, en este caso a la habitación principal, automáticamente el software nos ubica las luminarias de acuerdo con la medida de la habitación, pero no la distribuye cumple con la cantidad de luxes seleccionado, esto se realizará en el siguiente paso.

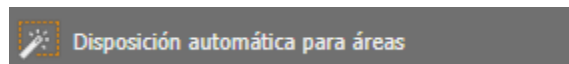


Figura 16. Disposición automática

En la figura 17 se observa que, en el enunciado tipo de planificación tenemos dos iconos, el derecho nos permite tener la disposición por áreas que se utiliza más por efectos de una buena distribución en el diseño, pero sin cumplir la cantidad de luxes requeridos. En este caso usamos el icono izquierdo y automáticamente nos inserta la cantidad de luminarias

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

requeridas para cumplir con la norma RETILAP (Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, 2013). Adicionalmente, permite validar o reemplazar los datos ingresados para garantizar las condiciones de las luminarias incandescentes.

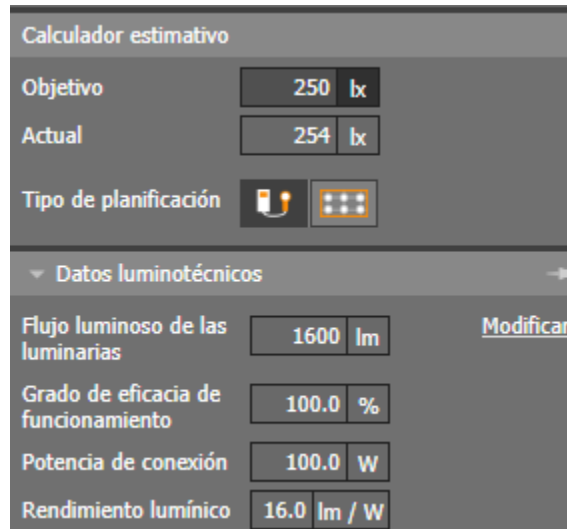


Figura 17. Calculador estimativo.

Posteriormente totalizamos el proyecto, se corre la simulación, que se hace usando la opción de proyecto completo, para evaluar si las luminarias instaladas cumplen los requerimientos de iluminación previamente establecidos. Después de correr, el software muestra la imagen presentada en la figura 18, la cual con el recuadro verde nos indica que estamos cumpliendo las normativas ingresadas de acuerdo a la norma aplicada en Colombia RETILAP (Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, 2013). El plano útil nos enseña la intensidad lumínica perpendicular con valores máximos, medios y mínimos además del valor nominal ingresado por el usuario.

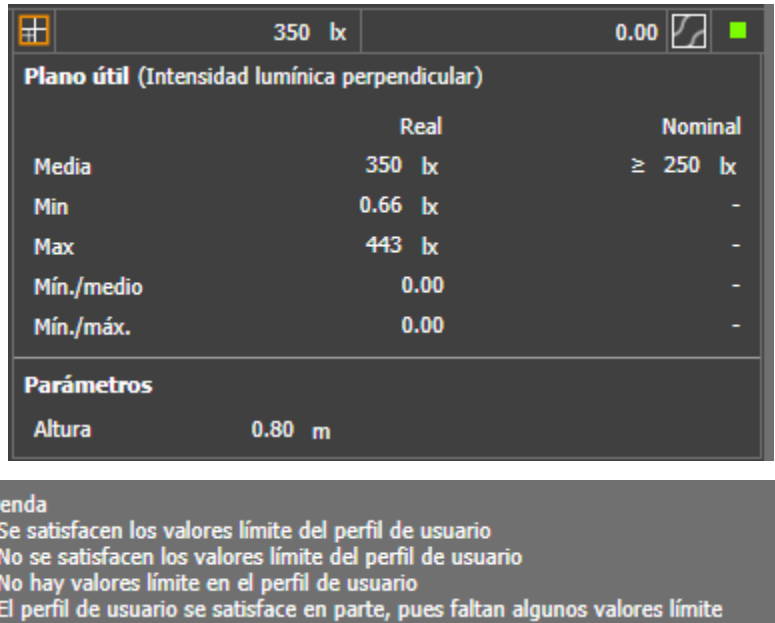


Figura 18. Satisfacción de valores.

Después de correr el programa y evaluar el efecto del sistema de iluminación previamente diseñado, ingresando al icono documentación y al registro de outputs seleccionados, se puede visualizar toda la documentación que nos entrega DIALux evo, elegimos el área que en este caso es la habitación 1 y se selecciona la lista de luminarias, llegando así a la figura 19 que nos enseña el número de luminarias usadas, cantidad de consumo eléctrico y cantidad de lumen usados. El cual representa el reporte técnico de cada espacio contenido dentro de la edificación.

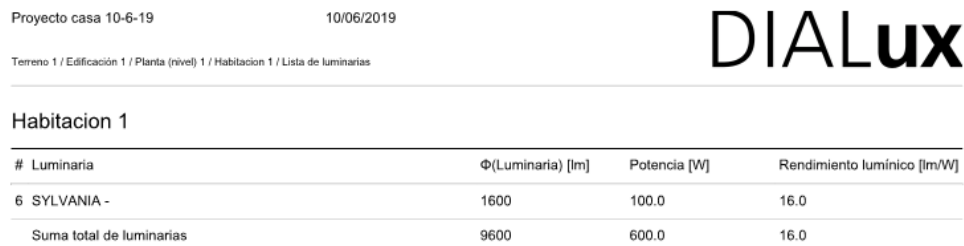


Figura 19. Resultados proyecto habitación.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Diseño de iluminación empleando software especializado DIALux evo.

La figura 20, presenta el resultado del diseño y cálculo de la edificación cumpliendo el reglamento establecido en Colombia RETILAP (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013) aplicado a las bombillas incandescentes y realizado en el software DIALux evo.



Figura 20. Diseño en software especializado DIALux evo con bombillas incandescentes.

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

La figura 21, evidencia el resultado del diseño y cálculo de la edificación proporcionado por el software DIALux evo cumpliendo el reglamento establecido en Colombia (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013) aplicado a las bombillas sylvania Toledo LED.



Figura 21. Diseño en software especializado DIALux evo con tecnología sylvania Toledo Led.

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

La figura 22, evidencia el resultado del diseño y cálculo de la edificación proporcionado por el software DIALux evo cumpliendo el reglamento establecido en Colombia (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013) aplicado a las luminarias Sylvania led mini continuum.



Figura 22. Diseño en software especializado DIALux evo con luminarias Sylvania led mini continuum.

En la tabla número 4 se evidencia la cantidad de luminarias y su consumo necesarios para cumplir el reglamento RETILAP (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013) de las bombillas y luminaria usadas, empleando el software especializado DIALux evo. Esta tabla presenta de izquierda a derecha los espacios existentes dentro de la vivienda, y la cantidad de luminarias y potencia instalada en

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

cada uno de los espacios utilizados, para los diferentes tipos de luminarias empleadas dentro de este proyecto de investigación.

La bombilla incandescente ocupó el segundo lugar en número de salidas de iluminación para cumplir con la norma, pero es la que más capacidad instalada de potencia tiene, con un valor de 5.3 kW. La tecnología Toledo led, presenta el número más alto en cantidad de salidas de iluminación con un total de 126 bombillas, ocupando el segundo lugar en términos de capacidad de potencia instalada (1.87 kW). Finalmente, las luminarias Sylvania led mini continuum presentaron la menor cantidad de salidas de iluminación y capacidad instalada, con un total de 18 luminarias y una capacidad de 0.702 kW, respectivamente.

Tabla 4. Cantidad de luminarias usadas y consumo.

	Incandescente		Sylvania Toledo Led		Luminaria	
	Potencia nominal	100	Potencia nominal	7,4	Potencia nominal	39
Locales	Numero luminarias	Capacidad instalada [W]	Numero luminarias	Capacidad instalada [W]	Numero luminarias	Capacidad instalada [W]
Habitación 1	5	500	15	111	2	78
Habitación 2	4	400	9	66,6	1	39
Baño 1	2	200	6	44,4	1	39
Escalas 1	4	400	8	59,2	1	39
Cocina	9	900	25	1110	4	156
Sala	9	900	20	148	2	78
Pasillo	2	200	2	14,8	1	39
Oficina	9	900	25	185	3	117
Pasillo 2	4	400	4	29,6	1	39
Baño 2	2	200	4	29,6	1	39
Escalas 3	3	300	8	59,2	1	39
	53	5300	126	1857,4	18	702

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

Observando las cantidades de potencias instaladas en la edificación, se analizó el porcentaje de reducción de las tecnologías más modernas con respecto a la bombilla incandescente, la cual presenta la capacidad instalada más alta. Para lo cual la tecnologías Toledo led y luminarias Sylvania led mini continuum presentaron una reducción del 64.95% y 86.75%, respectivamente. Obteniendo las luminarias Sylvania led mini continuum una reducción del 21.8% al ser comparadas con las bombillas Toledo Led.

La tabla numero 5 presenta los valores de luxes medios obtenidos por el software especializado DIALux evo, comparados con los niveles requeridos por RETILAP (Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico, 2013). La cual demuestra el cumplimiento de la norma antes mencionada por parte de todos los tipos de bombillas y luminarias empleadas. Siendo la luminaria Sylvania led mini continuum la del mayor nivel de luxes promedio por espacio, sin sobrepasar en ningún momento los niveles máximos de iluminación permitidos para las diferentes zonas aquí analizadas.

Tabla 5. Cantidad de luxes otorgados por DIALux evo.

Locales	Luxes media	Luxes media DIALux evo		
	RETILAP	Incandescente	Sylvania Toledo Led	Luminaria
Habitación 1	250	299	323	356
Habitación 2	250	319	260	253
Baño 1	150	161	173	251
Escalas 1	150	218	164	169
Cocina	450	580	551	607
Sala	350	475	396	450
Pasillo	100	285	249	242
Oficina	350	407	432	429
Pasillo 2	100	170	108	154
Baño 2	150	197	150	298
Escalas 3	150	177	165	249

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

4.2 Consumo de potencia de la residencia y costo asociado cada tipo de iluminación empleado.

En base a los resultados anteriores, se realizará el análisis del costo totales de cada tecnología seleccionada durante el tiempo de vida útil de luminaria de mayor durabilidad (35,000 horas). Para esto ser empleada la ecuación (1), la cual presenta los costos totales de inversión (C_t), costo cambio de bombillas ($C_{inversión}$) y costos operación ($C_{operacion}$) durante el tiempo de vida de la luminaria que más tiempo dure.

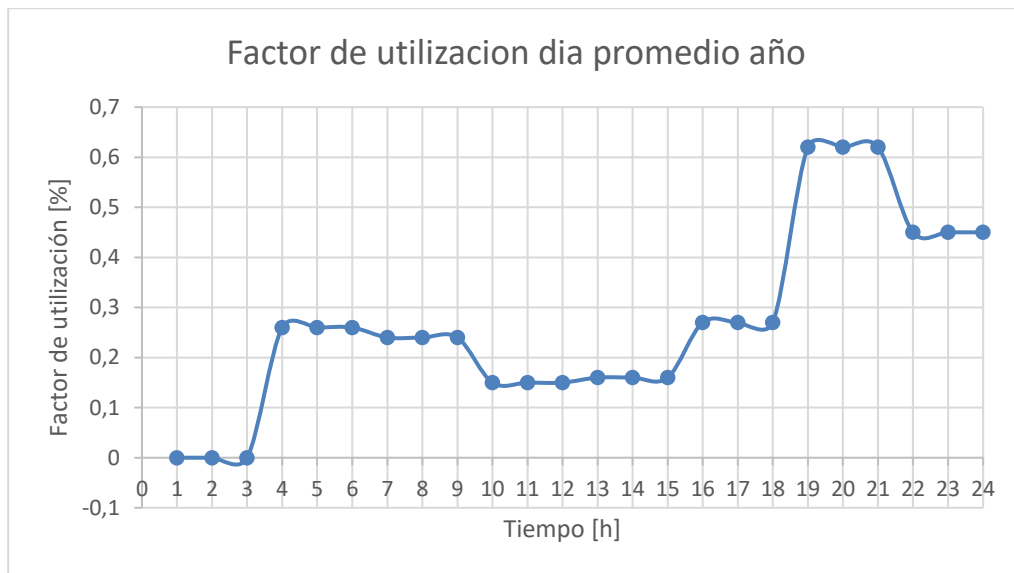
$$C_t = C_{inversión} + C_{reemplazo} + C_{operacion} \quad (1)$$

Para el cálculo de $C_{inversión}$ se emplea la ecuación (2), donde NTL representa el número total de luminarias requerido dentro de la instalación eléctrica y C_L corresponde al costo del tipo de luminaria instalado.

$$C_{inversión} = NTL * C_L \quad (1)$$

Empleando la anterior ecuación y la información presentada en las tablas 1 y 4, se obtiene un costo de 106,000 \$, 1,890,000\$ y 1,080,000\$ para la bombilla incandescente, Toledo led y Sylvania led mini continuum, respectivamente. Siendo la bombilla incandescente la que presenta el menor costo de inversión asociada a la compara del sistema de iluminación para la unidad residencial, con reducción del 94.39% y 90.19%, cuando es comparada con las tecnologías Toledo led y Sylvania led mini continuum.

Ahora para el cálculo de los costos de remplazo de las luminarias y el costos de operación, es necesario conocer el comportamiento de consumo sistema de iluminación de la unidad residencial. Para esto es empleada una curva promedio anual del factor de utilización de un sistema de iluminación del tipo de residencia aquí analizada, la cual se presenta en la gráfica 1 (Carrillo, 2017). LA cual presenta el factor de utilización hora a hora de una unidad residencial, durante un periodo de tiempo de 24 horas.



Grafica 1. Factor de utilización día promedio año.

Analizando la figura anterior se puede apreciar que el sistema de iluminación tiene un total de horas de uso al día (*HUD*) de 6.45 horas/día. Dado que esta curva es sacada de un promedio anual se puede calcular un total de 2354.25 horas/año de uso del sistema de iluminación en promedio, considerando 365 días de operación.

Empleando la información del factor de utilización diario del sistema de iluminación y la vida útil en horas presentada en la gráfica 1, puede ser calculada la vida útil en años ($VU_{años}$) de cada una las tecnologías de iluminación empleadas

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

en esta investigación, empleando la ecuación (3). Donde $Dias_{op}$ son los días al año que operara el sistema de iluminación, 365 días para este caso de estudio.

$$VU_{años} = \frac{VU_{horas}}{HUD * Dias_{op}} \quad (3)$$

Remplazando los respectivos valores de cada tecnología en la ecuación (3), se obtiene una vida útil en años de 0.5, 6.37 y 14.86 para las bombilla incandescente, las tecnologías Toledo led y Sylvania led mini continuum, respectivamente. Siendo esta ultima la de mayor vida útil dentro de las tecnologías empleadas, superando en 2,33 y 29,22 veces la vida útil de la tecnología Toledo led y bombilla incandescente.

$$NL_R = \frac{VU_{años}^{max}}{VU_{años}} \quad (4)$$

A partir de reconocer cual tipo de tecnología dura más entre los tipos de luminarias seleccionados, puede ser calculado el número de veces que deben remplazadas las tecnologías de menor vida útil con respecto a la de mayor (NL_R), empleando la ecuación 4. Donde $VU_{años}^{max}$ es el número de años de la tecnología de mayor duración y $VU_{años}$ los años de vida útil de otros tipos de luminaria empleadas. Es importante mencionar que siempre que el valor de en decimales, debe ser seleccionado el numero entero siguiente, dado que cuando se remplaza el sistema de iluminación este debe ser remplazado completamente.

Empleando la ecuación (4). Se encontró que el sistema de bombillas incandescente y de tecnología Toledo led deben ser remplazados 3 y 30 veces, respectivamente; durante la vida de operación de la luminaria Sylvania led mini continuum.

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

Para calcular el costo del remplazo de las luminarias es empleada la ecuación (5). Obteniendo de un costo de remplazo para luminarias incandescentes de \$ 3,180,000 y para la tecnología Toledo led de \$5,670,000.

$$C_{\text{replazo}} = NL_R * C_{\text{inversión}} \quad (5)$$

Finalmente, para cálculo del costo de la operación se debe calcular primero el costo del consumo anual ($Canual_{op}$) de cada tipo de luminaria empleando la ecuación (6). Donde Cap_{inst} y $C_{kW/h}$ representan la capacidad instalada para cada tipo de luminaria o bombilla emplea, y el costo del kilovatio hora de la energía por parte del operador de red local.

$$Canual_{op} = HUD * Dias_{op} * Cap_{inst} * C_{kW/h} \quad (6)$$

Para este trabajo de investigación se empleó un costo de \$525.23 pesos colombianos por kW/h, reportados por el operador de red local del municipio de Itagüí para una vivienda estrato 2. Adicionalmente se emplean las potencias instalada para cada tecnología presentadas en la tabla 4, para el cálculo de los costos de operación anuales; obteniendo un costo anual de \$6,556,936, \$2,288,743 y \$868,485 pesos colombianos para las bombillas incandescentes, tecnología Toledo led y luminaria Sylvania led mini continuum, respectivamente.

Finalmente, para el cálculo del costo de operación total, se emplea la ecuación (7), donde es multiplicado el costo de operación anual de cada tipo de luminaria por la vida útil de la luminaria de mayor durabilidad, Sylvania led mini continuum para el caso bajo análisis.

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

$$C_{operacion} = Canual_{op} * VU_{años}^{max} \quad (7)$$

Nota: en este trabajo de investigación se consideró el costos del kW/h constante para todos los años de operación considerados (14.86 años para este caso).

Al calcular los costos de operación totales para los sistemas de iluminación considerados dentro de este trabajo de investigación, se encontró un costos de \$97,436,469, \$34,010,720 y \$12,905,687, pesos colombianos, para las bombillas incandescentes, tecnología Toledo led y luminaria Sylvania led mini continuum, respectivamente. Nótese que, para este caso, el menor costo de operación total es obtenido por la luminaria Sylvania led mini continuum, con una reducción del 86.75% y 65.09% cuando es comparada con las bombillas incandescentes y la tecnología Toledo led.

Conociendo todos los costos requeridos se puede calcular los costos totales descritos en la ecuación 1. Dando un resultado total de \$100,722,469, \$41,570,720 y \$14,854,172 pesos colombianos para las bombillas incandescentes, tecnología Toledo led y luminaria Sylvania led mini continuum. Al comparar las tecnologías led con respecto a la incandescente se observa una reducción del 59% para la Toledo led y 85% en la luminaria Sylvania led mini continuum; siendo esta ultima la que presenta los menores costos totales asociados al sistema de iluminación residencial. Es por esto que la tecnología a seleccionar para esta edificación domiciliaria es la luminaria Sylvania led mini continuum por su eficiencia energética y mayor vida útil.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones:

Dentro de los sistemas de iluminación existe el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP, el cual establece los niveles de iluminación contenidos dentro de los sistemas eléctricos. Dado que para los sistemas de iluminación residenciales no existen muchos espacios definidos dentro de este reglamento, el diseñador debe referirse a la norma internacional IESNA para identificar los niveles óptimos de los espacios considerados dentro de su diseño, con el objetivo de garantizar las condiciones óptimas de iluminación dentro de las diferentes zonas de trabajo existentes dentro de la vivienda.

En este trabajo de investigación se encontró que los tipos de bombillas y luminarias mas empleados dentro del mercado colombiano son las bombillas incandescentes, la tecnología Toledo led y las luminarias Sylvania led mini continuum. Las cuales fueron seleccionadas como casos de prueba dentro de los diseños de iluminación empleados en este trabajo de investigación.

En este proyecto de investigación se propuso una metodología de diseño para una unidad residencial, basada en el software especializado DIALux evo, las curvas utilización anuales promedio y los costos de inversión, remplazo de luminarias y de operación. La cual permitió seleccionar la tecnología de iluminación más eficiente desde el punto de vista técnico y económico para una unidad residencial ubicada en el municipio de Itagüí, Colombia.

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

Al evaluar la metodología propuesta en un escenario de prueba “unidad residencial”, empleando los tipos de iluminación seleccionados dentro del mercado colombiano. Se encontró que la tecnología de mayor duración y con los menores costos de inversión y operación es la luminaria Sylvania led mini continuum. Obteniendo reducciones en los costos totales del 65.09% y 86.75% cuando fue comparada con las bombillas incandescentes y la tecnología Toledo led, bombillas altamente empleadas dentro de este tipo de sistemas en Colombia.

Trabajos futuros:

Como trabajo futuro de este trabajo de investigación se espera emplear la metodología propuesta para realizar estrategias de reconversión tecnológica en sistemas de iluminación deficientes, analizando en consumo energético antes y después de realizar las correcciones técnicas y de tecnologías de iluminación. Permitiendo de esta manera mejorar la eficiencia de los sistemas de iluminación residencial e industrial en Colombia, reduciendo las problemáticas energéticas actuales.

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

6. REFERENCIAS

Referencias

America, I. E. (24 de febrero de 1906). Transacciones de la sociedad de ingenieria de iluminacion, 1, 1. Estados Unidos de America. Obtenido de <https://www.ies.org/about/history/>

Carrillo, K. A.-J. (2017). ANÁLISIS DE LA CURVA DE DEMANDA ELÉCTRICA PARA USUARIOS RESIDENCIALES. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5838/1/HernandezHernandezKellyAlexandra2017.pdf>

Congreso de Colombia. (3 de octubre de 2001). ley 697 del 2001. Obtenido de Congreso de colombia: <https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley-697-2001.pdf#targetText=Decl%C3%A1rase%20el%20Uso%20Racional%20y,ambiente%20y%20los%20recursos%20naturales.>

Eco lite. (22 de julio de 2016). Retilap. Obtenido de Eco lite: <https://ecolite.com.co/noticias-detalle-tendencias-iluminacion-led-colombia/8/retilap-reglamento-tecnico-de-iluminacion-y-alumbrado-publico#targetText=Retilap%20%2D%20El%20objeto%20fundamental%20del,requerida%20en%20la%20actividad%20visual.>

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

Ecu Red. (s.f.). Lampara incandescente. Obtenido de Ecu Red:

https://www.ecured.cu/L%C3%A1mpara_incandescente

Estevez, R. (1 de noviembre de 2012). eco inteligencia. Obtenido de la obsolencia

programada y las bombillas: <https://www.ecointeligencia.com/2012/11/la-obsolencia-programada-y-las-bombillas/>

Iluminet. (2018). construlita . Obtenido de Iluminet: <https://www.iluminet.com/dialux-construlita-beca/>

Lenor. (29 de noviembre de 2016). Cinco claves para entender retilap. Obtenido de Lenor:

<http://lenor.com.co/2016/11/29/cinco-claves-para-entender-el-retilap/>

Ptolomeo UNAM. (s.f.). Sistemas de iluminacion. Obtenido de Ptolomeo:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/739/A4%20%20SISTEMAS%20DE%20ILUMINACION.pdf?sequence=4>

Redaccion el tiempo. (12 de septiembre de 2009). Colombia ´enterrara´ los bombillos

clasicos en enero de 2011. Obtenido de El tiempo: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-6086427>

Reglamento tecnico de iluminacion y alumbrado publico. (15 de noviembre de 2013). Diario

oficial 47673. Bogota, Colombia.

Requejo, G. (s.f.). Garcia requejo. Obtenido de indice deslumbramiento:

<https://garciarequejo.com/es/indice-deslumbramiento-unificado/>

Sylvania. (2011). Led mini continuum. Obtenido de Sylvania:

<http://www.sylvaniacolombia.com/ledminicontinuum>

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

Sylvania. (2011). Led Toledo. Obtenido de Sylvania:


<http://www.sylvaniacolombia.com/toledo>

VASQUEZ, J. P. (2017). Estrategias energeticas aplicables a la administracion de edificaciones residenciales. Medellin.

7. APÉNDICE.

Apéndice A. Datos técnicos Luminaria sylvania LED minicontinuum.

LED MINICONTINUUM 40W NW 1.2M
P28318




Luminaria lineal LED con driver independiente, distribución de luz homogénea sin sombras, proporciona un sistema de iluminación limpio y sencillo.


CARACTERÍSTICAS

Diseño moderno y compacto con strip LED y difusor opalizado
Perfil de aluminio extruido con acabado en pintura electrostática poliéster


APLICACIONES

Iluminación comercial
Oficinas
Instituciones educativas







8 años de vida
(Uso 12 horas al día)



Tecnología Amigable
con el medio ambiente



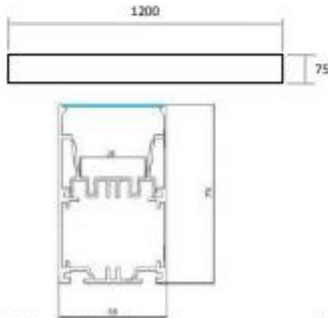
Ultra Delgado



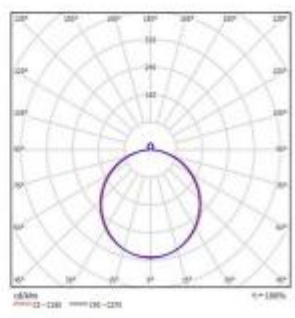
ENCENDIDO INSTANTANEO

DATOS ÓPTICOS		DATOS FÍSICOS		DATOS ELÉCTRICOS	
Temperatura de color	4000 K (NW)	Acabado	Gris	Potencia de entrada	40 W
Flujo luminoso	3000 lm	Grado de protección IP	IP20	Tensión de operación	100-277 V 50/60 Hz
Ángulo de apertura	100°	Dimensiones (LxWxH)	1200x50x75 mm	Corriente de entrada	0.333 A @ 120 V
Tipo de distribución	Directa simétrica	Tipo de montaje	Suspender	Factor de potencia	>0.90
Reproducción de color (IRC)	80	Chasis	Aluminio	Distorsión armónica (THD)	<20%
Vida útil	35000 h L70	Óptica	Difusor PC opal	Tipo de driver	Independiente CC
Eficacia	75 lm/W	Temperatura de operación Ta	-10°C ~ +40°C	Atenuable	NO

DIMENSIONES



FOTOMETRÍA




Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 12/18

Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

Apéndice B. Datos técnicos Luminaria sylvania LED Toledo.

TOLEDO A55 4.5W WW 15H SYL CJ
P27990




Bombilla LED en formato bulbo para iluminación doméstica, su tecnología y diseño proporciona una mejor iluminación interior. Ahorra hasta el 90% de energía comparado con bombillas incandescentes.


CARACTERÍSTICAS


- Diseño de bulbo tradicional
- Cuerpo con acabado opalizado
- Tecnología de chip LED SMD


APLICACIONES


- Iluminación decorativa
- Espacios domésticos
- Iluminación residencial





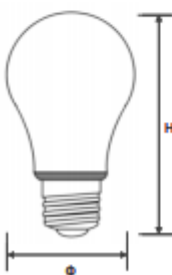




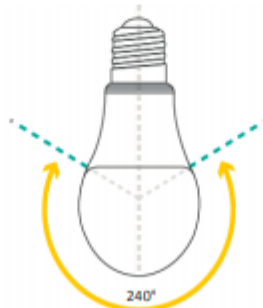


DATOS ÓPTICOS		DATOS FÍSICOS		DATOS ELÉCTRICOS	
Temperatura de color	3000K	Base	E27	Potencia de entrada	4.5W
Flujo luminoso	430 lm	Acabado	Opalizado	Tensión de operación	100-240V 50/60Hz
Ángulo de apertura	240°	Dimensiones (Φ x H)	55x98 mm	Corriente de entrada	0.04A @120V
Tipo de distribución	Directa simétrica	Temperatura de operación Ta	-10°C ~ +45°C	Frecuencia de operación	50/60Hz
Reproducción de color (IRC)	80	Ambiente de Uso	Iluminación interior	Factor de potencia	0.5
Vida útil	15000h L70			Atenuable	NO
Eficacia	96 lm/W				

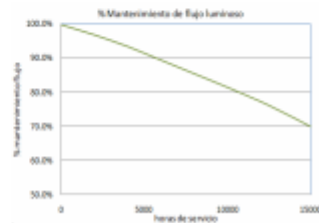
DIMENSIONES



APERTURA DE HAZ



CURVA DE DEPRECIACION



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 04/18

Producto Ecológico:
Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

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

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____