

Construcción de un sistema de recomendación para diseños luminotécnicos en entornos residenciales y educativos usando una metodología de razonamiento basada en casos.

Oscar Felipe Fuentes Báez

Juan David Bohórquez Zafra

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electricista

Director:

José David Cortés

Magister en Ingeniería Eléctrica

Codirector:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD. en tecnología

Universidad Industrial de Santander

Facultad ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A Dios por bendecirme para alcanzar este gran logro en mi vida, y por ser esa luz de fe y esperanza presente en los momentos más difíciles.

A mi padre Humberto Bohórquez por todos los sacrificios y el gran apoyo que me ha brindado en este proceso de formación profesional, su invaluable presencia se ha convertido en el motor que ha impulsado mis sueños, doy gracias a Dios por haberme dado el privilegio de poder contar con un padre tan maravilloso y espero que este logro represente una recompensa al esfuerzo realizado durante todos estos años

A mis amigos y colegas Oscar Felipe Fuentes, David Eduardo Plata, Cristian Alfonso, German Ricardo Barrera, Gerson Ardila, por haber hecho que mi estancia en la universidad fuera más agradable en el ámbito personal y académico.

Doy gracias a todas las personas que me proporcionaron su ayuda en algún momento y que contribuyeron directa e indirectamente en mi desarrollo como estudiante universitario.

Juan David

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a Dios, por entregarme el don de la perseverancia para alcanzar la tan anhelada meta de ser ingeniero eléctrico de la Universidad Industrial de Santander, por permitirme tener vida, salud, inteligencia y por regalarme la sabiduría necesaria que me llevo a concluir mi carrera.

A mis padres, Isabel Báez y Silverio Fuentes ya que son mi pilar fundamental, mi motor y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y empeño, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su amor, comprensión, sus consejos durante esta larga y hermosa carrera, para hacer de mí una mejor persona y todo ello de una manera desinteresada y llena de amor.

A mis hermanas, familiares y pareja por sus palabras de aliento y compañía, por el apoyo que me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria a pesar de la distancia, me formaron con reglas y algunas libertades, pero al fin de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis amigos Cristian Alfonso Rueda y Juan David Bohórquez, compañeros y todas aquellas personas que de uno u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos ya que con ellos vivimos los buenos y malos momentos que solo se viven en la Universidad y que con algunos más que compañeros fuimos verdaderos amigos.

A la universidad que nos abrió las puertas para ser mejores personas y buenos profesionales, a los catedráticos que durante diez semestres nos compartieron sus conocimientos y se convirtieron en nuestro ejemplo a seguir.

Oscar Felipe

Resumen

Título: Construcción de un sistema de recomendación para diseños luminotécnicos en entornos residenciales y educativos usando una metodología de razonamiento basada en casos.

Autores: Oscar Felipe Fuentes Báez, Juan David Bohórquez Zafra

Palabras clave: Iluminancia, reflectancia, indicador luminotécnico, deslumbramiento, iluminación artificial, RETILAP, IESNA, CBR

Descripción: Con el presente proyecto se busca desarrollar una metodología cuya base de estudio sea el concepto del modelo de razonamiento basado en casos (CBR), realizando la recopilación de datos o diseños luminotécnicos para recomendar un diseño de iluminación que se ajuste a los requerimientos establecidos en el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), para así poder observar la importancia de un buen nivel de iluminación en los diferentes ambientes presentes en la vida cotidiana de las personas. En base a lo mencionado anteriormente surge la necesidad de realizar simulaciones que permitan observar las variables que influyen en el desarrollo de diseños de iluminación para dichos ambientes, por ende, se propone el uso de un software de diseño luminotécnico como es el caso de Dialux para llevar a cabo las respectivas simulaciones en lo que concierne a lugares comunes presentes en entornos residenciales y educativos, con lo cual se busca tener una referencia a la hora de establecer las características más comunes presentes en un diseño luminotécnico. Se espera que los resultados de este trabajo de grado sean un punto de partida para la elaboración de bases de datos que sirvan de referencia para el desarrollo de nuevos diseños de iluminación que se ajusten a las demandas requeridas por los usuarios.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T). Director José David Cortes. Codirector Oscar Arnulfo Quiroga.

Abstract

Title: Construction of a recommendation system for lighting design in residential and educational settings using case-based reasoning methodology.

Authors: Oscar Felipe Fuentes Báez, Juan David Bohórquez Zafra.

Key words: Illuminance, Reflectance, Light Indicator, Glare, Artificial Lighting, RETILAP, IESNA, CBR.

Description: This project seeks to develop a methodology based on the concept of the case-based reasoning (CBR) model, by collecting data or lighting designs to recommend a lighting design that complies with the requirements set out in the technical regulations for lighting and public lighting (RETILAP), in order to be able to observe the importance of a good level of lighting in the different environments present in people's daily lives. Based on the above, the need arises to carry out simulations that make it possible to observe the variables that influence the development of lighting designs for these environments, therefore, the use of lighting design software such as Dialux is proposed to carry out the respective simulations for common places in residential and educational environments, the aim is to have a reference when establishing the most common characteristics present in a lighting design. It is hoped that the results of this degree work will be a starting point for the development of databases that will serve as a reference for the development of new lighting designs that meet the demands required by users.

* Bachelor project

** Faculty of Physicomechanics Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering (E3T). Director José David Cortes. Codirector. Oscar Arnulfo Quiroga

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Generalidades del proyecto.....	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos	15
2. Marco Conceptual	16
2.1 Iluminancia	16
2.2 Luminancia:	18
2.3 Reflectancia:	20
2.4 Rendimiento luminoso (eficiencia luminosa):	20
2.5 Uniformidad media de la iluminancia (U0):	21
2.6 Intensidad luminosa, I (cd):	22
2.7 Deslumbramiento:.....	22
2.8 Luminarias	23
2.8.1 Luminarias fluorescentes	24
2.8.2 Luminarias de sodio a alta presión.....	25
2.8.3 Luminarias de metales halógenos	25
2.8.4 Luminarias LED.....	26

2.9 CBR (Case-Based Reasoning)	28
2.9.1 Ventajas y desventajas del CBR	34
3. Metodología de construcción de un modelo CBR	35
3.1 Fase de recuperación.....	35
3.1.1 Búsqueda de los casos de estudio de iluminación en entornos residenciales y educativos .	35
3.1.2 Ordenamiento de la información recopilada.....	36
3.1.3 Clasificación de los tipos de lugares.....	36
3.1.4 Caracterización de espacios	37
3.1.5 Uso de software luminotécnico.....	39
3.1.6 Asignación de puntajes para las características	46
3.1.7 Encuesta	48
3.1.8 Función de similitud y semejanza.....	56
3.1.9. Casos similitud.....	57
3.1.10 Matlab	64
3.1.11 Algoritmo CBR.....	65
3.2 Fase de reutilización	66
3.3 Fase revisión	66
3.4 Fase de almacenamiento	67
4. Casos de estudio con la metodología.....	70
4.1 Caso 1.....	72

4.2 Caso 2.....	73
4.3 Caso 3.....	74
4.4 Validación del modelo	76
4.4.1 Promedio de similitud de los 10 casos	77
4.5 Análisis	78
5. Conclusiones.....	79
6. Trabajos futuros	80
Referencias bibliográficas.....	81
Apéndices.....	83

Lista De Tablas

Tabla 1. Iluminancia	16
Tabla 2. Luminancia	18
Tabla 3. Rendimiento luminoso	21
Tabla 4. Uniformidad media	21
Tabla 5. Intensidad luminosa	22
Tabla 6. Características de luminarias	27
Tabla 7. Tipos de sistemas CBR	29
Tabla 8. Ordenamiento de la información recopilada	36
Tabla 9. Puntaje de los lugares	55
Tabla 10: Conceptos para la verificación de los niveles de iluminancia.	58
Tabla 11. Similitud sala de sistemas	59
Tabla 12. Similitud aula estudiantil	60
Tabla 13. Similitud baño	61
Tabla 14. Similitud pasillo	61
Tabla 15. Similitud laboratorio	62
Tabla 16. Similitud oficina	62
Tabla 17. Similitud consultorio	63
Tabla 18. Validez de diseños de la base de casos	64
Tabla 19. Variables de entradas y salidas para el algoritmo	65
Tabla 20. Forma del lugares utilizados en el algoritmo	68
Tabla 21. Tipos de lugares utilizados en el algoritmo	68

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RECOMENDACIÓN	10
Tabla 22. Similitud casos de prueba	76
Tabla 23. Comparación área de los casos de prueba	77

Lista De Figuras

Figura 1. Representación de la iluminancia en un espacio	16
Figura 2. Curvas isolux iluminancia	17
Figura 3. Luxómetro	17
Figura 4. Representación de la luminancia en una superficie	18
Figura 5. Nitómetro	19
Figura 6. Curvas de isoluminancias	19
Figura 7. Luminancias típicas en fuentes de luz	20
Figura 8. Diferencias entre flujo e intensidad luminosa	22
Figura 9. Luminaria fluorescente	24
Figura 10. Luminaria de sodio de alta presión	25
Figura 11. Luminaria de metales halógenos	26
Figura 11. Luminaria led	26
Figura 12. Estructura interna CBR	29
Figura 13. Ciclo CBR	33
Figura 14. Plano caracterización	37
Figura 15. Levantamiento de paredes y puerta	40
Figura 16. Elementos materiales del salón comunal	40
Figura 17. Datos luminotécnicos de la luminaria	41
Figura 18. Luminaria utilizada en el diseño	41
Figura 19. Ubicación de luminarias	42
Figura 20. Nivel de iluminancia requerido	42

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RECOMENDACIÓN	12
Figura 21. Simulación	43
Figura 22. Plano con luminarias encendidas	44
Figura 23. Plano con luminarias encendidas	44
Figura 24. Encuesta tipo de lugar	48
Figura 25. Encuesta forma de lugar	
Figura 26. Encuesta área	49
Figura 27. Encuesta nivel de iluminancia media	50
Figura 28. Encuesta nivel de iluminancia máxima	50
Figura 29. Encuesta nivel de iluminancia mínima	51
Figura 30. Encuesta altura del lugar	51
Figura 31. Encuesta altura del montaje	52
Figura 32. Encuesta tipo de luminaria	52
Figura 33. Encuesta potencia de la luminaria	53
Figura 34. Encuesta rendimiento lumínico	53
Figura 35. Encuesta flujo luminoso	54
Figura 36. Encuesta cantidad de luminarias	54
Figura 37. Valoración usuario	67
Figura 38. Base de casos	70
Figura 39. Diagrama de flujo CBR	71
Figura 40. Recomendación del algoritmo para el caso 1	72
Figura 41. Recomendación del algoritmo para el caso 2	73
Figura 42. Recomendación del algoritmo para el caso 3	75

Introducción

Diversos criterios son utilizados para evaluar la calidad de los diseños y las instalaciones con el fin de garantizar condiciones seguras y de confort para las personas que ocuparan esos espacios. Uno de esos criterios es el nivel de iluminación, tanto natural como artificial.

Los sistemas de iluminación pueden influir en la salud, seguridad y por ende en el bienestar de una persona, por ejemplo, un mal manejo de lámparas fluorescentes ya sea por su bajo índice de reproducción cromática, sus niveles de deslumbramiento, o por efectos de parpadeo que pueden generar dolores de cabeza y fatiga visual. Una iluminación puede alterar también el ciclo sueño-vigilia produciéndose una supresión de melatonina en el cerebro, lo cual podría producir a largo plazo la presencia de células cancerígenas en el cuerpo humano (IESNA, 2011). Por otro lado, es de resaltar, la importancia de la iluminación de emergencia ya que sin esta el nivel de visibilidad de escaleras, y zonas de evacuación, se verían afectados, aumentando los riesgos de accidentes.

Por consiguiente, es necesario considerar la normatividad técnica de referencia para realización de los diseños luminotécnicos. Allí se presentan los requerimientos técnicos de diseño, como son los niveles de iluminancia y deslumbramiento para diferentes ambientes de tipo público, residencial, entre otros. En el caso de Colombia, los diseños de iluminación deben cumplir las exigencias del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), de donde surge la oportunidad de desarrollar una metodología para la realización de diseños de iluminación, utilizando el proceso de razonamiento basado en casos (CBR) cuyo objetivo es buscar soluciones a nuevos problemas partiendo de una base que tiene como datos las soluciones de problemas resueltos con anterioridad, en este caso esas soluciones estarían fundamentadas en la recolección

de diseños de iluminación suministrados por ingenieros que se desempeñan en el área de iluminación. Luego de ello se procede a realizar un algoritmo con el cual el usuario obtendrá una recomendación de un diseño luminotécnico, por ende, se busca que el usuario logre obtener un diseño óptimo. El algoritmo se diseñó utilizando el razonamiento basado en casos y parámetros luminotécnicos importantes en la realización de un diseño de iluminación. También se realizaron pruebas de una cantidad de casos, donde se comprobó un nivel de similitud entre los parámetros que se presentan en el reglamento técnico RETILAP y los parámetros que se encuentran en la base de casos, para así obtener información acerca de que tan eficaz es la recomendación realizada por el algoritmo.

1. Generalidades del proyecto

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de recomendación que utilice la metodología de razonamiento basada en casos que proponga soluciones a diseños luminotécnicos en entornos residenciales y educativos.

1.2 Objetivos específicos

- Recopilar información referente al CBR o razonamiento basado en casos e información de diseños de iluminación elaborados por ingenieros del área de iluminación, entre otros de modo que sirvan como insumo en la descripción de un diseño luminotécnico para la construcción de una base de casos y el desarrollo e implementación de un modelo basado en casos.
- Identificar los descriptores necesarios que permitan cuantificar un espacio desde el punto de vista de los indicadores luminotécnicos. Dichos descriptores se pueden definir de acuerdo con criterios de forma, espacio y tipo.
- Diseñar un modelo que utilice una metodología de razonamiento basada en casos para la toma de decisiones en la recomendación de un diseño luminotécnico para entornos residenciales y educativos.
- Evaluar el modelo mediante la métrica de desempeño de matriz de confusión para casos de estudio referentes a espacios que involucren entornos residenciales y educativos.

2. Marco Conceptual

2.1 Iluminancia

Es una magnitud que mide la cantidad de flujo lumínico que incide sobre un objeto o superficie (Castilla, 2015, p.21). La iluminancia se rige por la ley inversa de los cuadrados, en la que se relaciona la intensidad (I) lumínica y la distancia de la fuente lumínica. Su unidad es el lux.

El lux (lx) puede ser definido como el nivel de iluminación de una superficie de 1 m2 cuando sobre ella incide uniformemente un flujo luminoso de 1 lumen (lm).

Tabla 1.

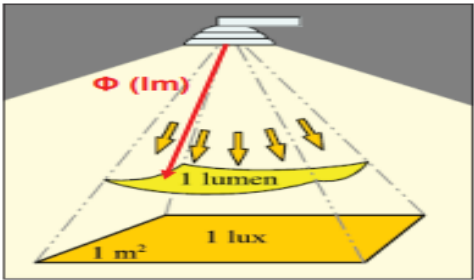
Iluminancia

Magnitud	Símbolo	Unidad	Fórmula
Iluminancia	E	$lux(lx) = \frac{lumen}{m^2}$	$E = \frac{\Phi}{S}$

La tabla muestra el símbolo, unidad y la fórmula de la iluminancia.

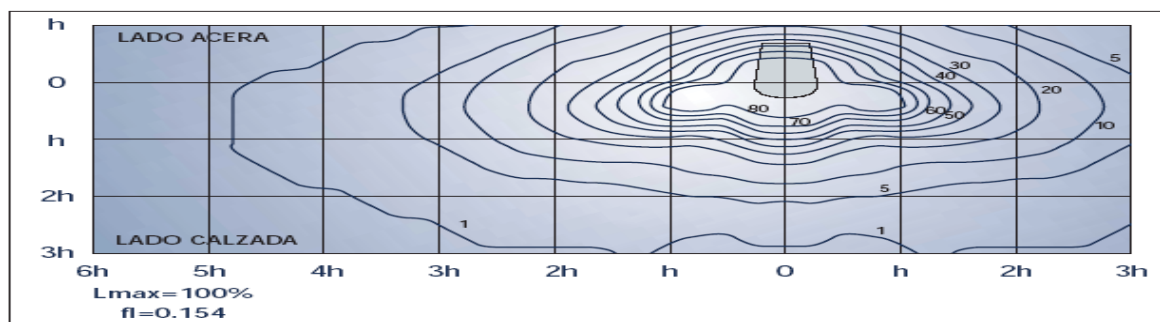
Figura 1.

Representación de la iluminancia en un espacio



Nota. La figura representa la distribución de la iluminancia en un espacio

El flujo producido por una fuente de luminosa proporciona una iluminación sobre una superficie, cuyos valores se miden en lux. Los valores proyectados sobre un mismo plano y unidos los de igual valor por medio de una línea dan lugar a las curvas isolux (Blasco, p.30).

Figura 2.*Curvas isolux iluminancia*

Nota. Representación gráfica de una curva isolux para iluminancia.

Las curvas isolux son características de cada luminaria. Están reducidas a la distancia de 1 m y referidas a 1000 lm (Blasco, p.31).

La medida del nivel de iluminación real se realiza mediante el uso del luxómetro. Los luxómetros disponen de una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, generan impulsos débiles de corriente (mA) que se ve amplificada en función de la luz incidente (Blasco, p.32).

Figura 3.*Luxómetro*

Elemento utilizado para medir la iluminancia presente em un espacio.

Para medir la iluminancia de una superficie se debe situar el luxómetro perpendicular a la fuente luminosa (Blasco, p.32).

El valor de iluminancia puede ser ajustado en al menos un escalón en la escala de iluminancias si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales.

En condiciones normales de iluminación se requieren aproximadamente 20 lux para discernir características de la cara humana y es el valor más bajo tomado para la escala de iluminancias. La escala de iluminancias (en lux) recomendada es (UNE-EN 12464-1, 2003, p.9):

20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000

La iluminancia mantenida requerida debería ser aumentada cuando:

- El trabajo visual es critico
- Los errores son costosos de rectificar
- La exactitud o la mayor profundidad es de gran importancia

2.2 Luminancia:

Es el efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es cd/m² (Blasco, p.37).

Tabla 2.

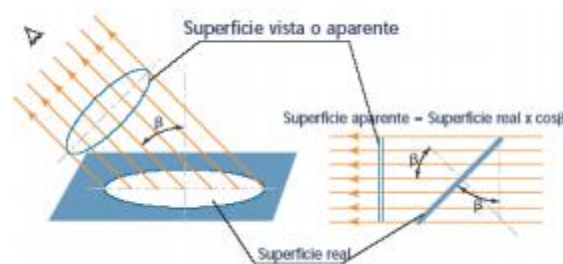
Luminancia

Magnitud	Símbolo	Unidad	Formula
Luminancia	L	cd/m ²	$L = \frac{J}{S_{aparente}} = \frac{J}{S * \cos \alpha}$

La tabla muestra el símbolo, unidad y la fórmula de la luminancia.

Figura 4.

Representación de la luminancia en una superficie



Comportamiento de la luminancia sobre una superficie.

La luminancia mide el brillo tanto de la fuente luminosa como el reflejado por la superficie u objeto iluminado.

La medida de la luminancia se realiza por medio del luminancímetro o nitómetro. El nitómetro se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición (Blasco, p.37).

Figura 5.

Nitómetro

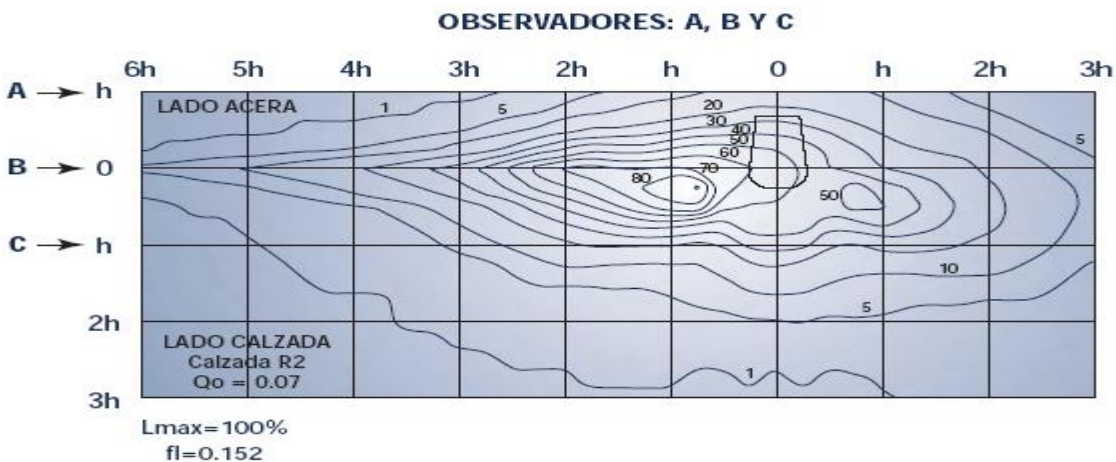


Nota. Elemento utilizado para realizar la medición de luminancia en un espacio.

Las luminancias, que dependen del flujo luminoso reflejado por una superficie en la dirección del observador, pueden ser representadas gráficamente por medio de las curvas de isoluminancias en valores de cd/m^2 (Blasco, p.38).

Figura 6.

Curvas de isoluminancias



Nota. Representación gráfica de una curva isolux para iluminancia.

Valores típicos de luminancias de algunas fuentes de luz:

Figura 7.

Luminancias típicas en fuentes de luz

Luna	0,25 cd/cm ²
Cielo despejado	0,3 a 0,5 "
Llama de una vela	0,8 "
Lámpara fluorescente	0,8 "
Lámpara incandescente "opal"	1 a 5 "
Lámpara incandescente mate	5 a 50 "
Lámpara de mercurio de alta presión	11 "
Filamento de lámpara incandescente	500 a 1.000 "
Sol	150.000 "

Nota. La figura muestra los valores tipos de luminancia para diferentes fuentes de luz.

2.3 Reflectancia:

Proporción de la luz reflejada por una superficie. Es una cantidad no dimensional. El poder reflectante de las superficies que rodean a un local juega un papel muy importante en el resultado final del proyecto de iluminación. La luz emitida por la luminaria podrá ser reflejada y aprovechada en mayor grado según el poder reflectante de esas superficies, su valor varía entre 0% y 100%. Cuando hay que iluminar no es la fuente de luz el único elemento a tomar en cuenta. La luz interactúa con la materia, la absorbe o la refleja.

La reflectancia puede variar considerablemente de acuerdo con las características de la superficie, el color de esta y la dirección y tipo de luz incidente.

2.4 Rendimiento luminoso (eficiencia luminosa):

Suele suceder que no toda la energía consumida por una lámpara se transforma en luz visible. Parte de ella se pierde por calor, y también en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc. El rendimiento lumínico de una fuente de luz, indica el flujo (radiación visible) que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su debida obtención (Blasco, p. 25).

Su símbolo es η y su unidad es el lumen por watt (lm/w)

Tabla 3.

Rendimiento luminoso

Magnitud	Símbolo	Unidad	Fórmula
Rendimiento luminoso	η	lm/w	$\eta = \frac{\phi}{w}$ $= \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}}$

La tabla muestra el símbolo, unidad y la fórmula del rendimiento lumínico.

2.5 Uniformidad media de la iluminancia (U0):

La uniformidad media de la iluminancia (U0) es la relación existente entre la iluminancia mínima y la iluminancia media sobre la superficie de referencia. Es necesario asegurar un valor de uniformidad elevado ya que variaciones de iluminancia elevadas sobre el área de trabajo pueden producir molestias visuales que afecten el bienestar de la persona.

Tabla 4.

Uniformidad media

Magnitud	Símbolo	Fórmula
Uniformidad media	U_0	$U_0 = E_{min}/E_{med}$

La tabla muestra el símbolo, unidad y la fórmula de la uniformidad media.

La uniformidad media se calcula de acuerdo con los siguientes criterios:

- Emin:Corresponde al punto de menor iluminancia entre todos los puntos calculados

- Emed:Corresponde al valor medio de la iluminancia calculado entre todos los n puntos considerados,desde el primero E1 hasta el final En.

2.6 Intensidad luminosa, I (cd):

La intensidad luminosa de una fuente de luz es igual al flujo luminoso emitido en una determinada direccion y contenida en un ángulo solido cualquiera, cuyo eje coincida con la direccion considerada (Blasco, p.26).

Tabla 5.

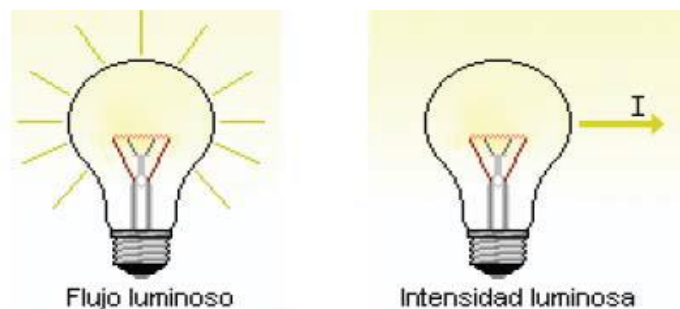
Intensidad luminosa

Magnitud	Símbolo	Fórmula
Uniformidad media	I	$I = \frac{\phi}{W} (cd)$

La tabla muestra el símbolo, unidad y la fórmula de la intensidad luminosa.

Figura 8.

Diferencias entre flujo e intensidad luminosa



Nota. La imagen es una representación entre flujo e intensidad luminosa.

2.7 Deslumbramiento:

Según el CIE (Comisión Internacional de Iluminación), el deslumbramiento es la condición de la visión que produce molestias, reducción o ambas, en la habilidad para ver objetos debido a una inconveniente distribución del nivel de luminancias o variaciones extremas de las mismas en el espacio o en el tiempo. Es la sensación que se produce cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la de su entorno

La CIE propuso en el año 1995 el UGR o Índice de Deslumbramiento Unificado de modo que cuanto mayor sea el índice de deslumbramiento unificado UGR, mayor será la sensación de deslumbramiento. En función del tipo de actividad se recomienda un límite máximo para dicho índice.

Los valores normativos van desde un UGR de 10 a 31, siendo 16 no deslumbrante y 28 deslumbrante. Los más comúnmente utilizados son 16, 19, 22, 25 y 28. Este incremento cada tres dígitos se debe a que la variación no es perceptible a la vista de manera unitaria.

Las principales variables que inciden en el valor de UGR son:

- Las características técnicas y constructivas de la luminaria.
- Índice de reflexión de las superficies adyacentes (pantallas, ventanas, superficies y mesas brillantes, espejo, etc.)
- La posición del observador respecto a la luminaria (ángulo lumínico directo producido por la altura y distancia de la lámpara)

2.8 Luminarias

La iluminación se encuentra en el contexto del sector energético, el cual ha empezado a gestionar una revolución en su concepción, prácticas y forma de realizar los proyectos. Esta nueva concepción del sector energético ha sido propulsada en base a dos macro temas: las energías renovables y la eficiencia energética (Vergara, Perilla, 2019, p.36).

El concepto de las energías renovables no es algo nuevo, ya que desde el inicio de la generación de energía eléctrica esta era la forma de realizarse, esto se realizaba aprovechando algún recurso hidráulico, sin embargo, debido al crecimiento poblacional, el crecimiento de la demanda de energía eléctrica y la imposibilidad de muchos países por tener un recurso hídrico disponible, origino la demanda por un producto diferente, esto hizo que se idearan nuevas formas

de producir energía eléctrica, y que este espacio en el mercado fuera llenado por los combustibles fósiles, los cuales eran prácticos, se podían adquirir en cualquier lugar y los plazos de ejecución de estos proyectos eran menores (Vergara, Perilla, 2019, p.37). El otro macro tema ha sido el enfoque en la eficiencia, la eficiencia energética es una forma de aprovechar mejor los sistemas energéticos, reduciendo la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que se necesitan para realizar una actividad sin afectar o mejorando el proceso resultante. La eficiencia energética es un tema de suma importancia ya que si se adoptan estas prácticas y tecnologías se puede reducir hasta en un 40% el consumo de combustibles fósiles, además se pueden reducir millones de toneladas de emisión de dióxido de carbono.

En el sector energético una de las áreas en las que más se ha visto progreso ha sido la de la iluminación, en la cual la tecnología ha evolucionado rápidamente y con la eficiencia energética como uno de sus principales focos de mejora. Existen 3 clases principales de tecnologías en las que respecta a luminarias, estas son: luminarias de sodio a alta presión, luminarias de metales halógenos (fluorescentes) y LED.

2.8.1 Luminarias fluorescentes

Son luminarias lineales o compactas de descarga de gran intensidad lumínica que consiste en un arco eléctrico rodeado de vapor de mercurio en el interior del bulbo; la luz que produce es ligeramente azulada.

Figura 9.

Luminaria fluorescente



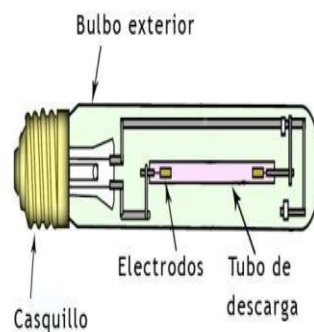
La imagen muestra un tipo de luminaria fluorescente.

2.8.2 *Luminarias de sodio a alta presión*

Las luminarias de vapor de sodio son lámparas de descarga, que tienen como elemento principal el mercurio, también tienen sodio. Como beneficios, la eficiencia de las lámparas de vapor de sodio es mayor que las lámparas de vapor de mercurio que alcanzan, dependiendo de la potencia de la lámpara, se encuentran eficiencias de 70 a 150 lm / w.

Figura 10.

Luminaria de sodio de alta presión



La imagen muestra un tipo de luminaria de sodio de alta presión.

2.8.3 *Luminarias de metales halógenos*

Estas luminarias tienen metal dentro de la manguera, una elaborada mezcla de metales nobles vaporizados que proporcionan una luz más cómoda, con una temperatura de color más alta (tono blanco) y una reproducción de color mucho más alta (permitiendo una mejor visualización de colores). Inicialmente desarrollada para tener un tubo de descarga de cristal de cuarzo,

actualmente se utiliza un policristalino sintético en la manguera de drenaje. Este material es menos corrosivo para los metales que están en el interior de la lámpara, proporcionando mejores condiciones de operación.

Figura 11.

Luminaria de metales halógenos



La imagen muestra un tipo de luminaria de metales halógenos.

2.8.4 Luminarias LED

Las luminarias LED tuvieron su primer uso en dispositivos electrónicos, como una baliza, la cual no presentaba suficiente flujo luminoso para ser utilizado como una fuente de luz que pudiera iluminar ambiente. El LED tiene dimensiones muy pequeñas y haz directo que puede considerarse como una fuente de luz puntual, lo que le da una gran versatilidad y facilidad para enfocar su linterna. Actualmente las lámparas LED se pueden usar para cualquier aplicación comercial y vial. Poseen ciertas ventajas, incluido su considerable ahorro energético, arranque instantáneo, resistencia a los encendidos y apagados continuos y su mayor vida útil.

Figura 11.

Luminaria led



La imagen muestra un tipo de luminaria led.

A continuación, se puede observar un breve resumen de las características de las principales tecnologías del sector de la iluminación.

Tabla 6.

Características de luminarias

Características	Bombilla incandescente	CFL. (lámpara fluorescente compacta)	LED
Durabilidad mecánica	No es durable, el vidrio en su recubrimiento se rompe fácilmente	No es durable, el vidrio en su recubrimiento se rompe fácilmente	Muy durable, su recubrimiento de lentes reflexivos no se puede romper fácilmente
Generación de calor durante la operación	Mucha	Poca	Casi ninguna
Peligro de incendio	Peligroso	Peligroso	Bajo peligro
Mecanismo de encendido	Instantáneo	Con retraso	Instantáneo

¿Contiene mercurio?	No	Si	No
Emisión de dióxido de carbono (1 luminaria al año)	150 libras	35 libras	15 libras
Vida útil	1000 horas	12000 horas	10000 horas

La tabla indica las características que pueden presentar los diferentes tipos de luminarias.

Se puede observar las ventajas que ofrece la iluminación LED con respecto a las demás tecnologías, sin embargo, estas ventajas no terminan ahí, ya que la tecnología LED también tiene un bajo consumo, poco mantenimiento y una eficiencia de 150 lm/w. además no tiene ningún filamento y la intensidad lumínica es ajustable.

2.9 CBR (Case-Based Reasoning)

Los sistemas expertos (KBS, Knowledge Bases Systems) forman parte de una de las ramas de la inteligencia artificial (AI, Artificial Intelligence) que más ha proporcionado éxitos. Sin embargo, la mayoría de los sistemas expertos presentaban un conjunto de problemas entre los cuales se encuentran (Lezcano, 2016, p.3):

- La complejidad de implementar el respectivo sistema
- La lentitud que presentan dichos sistemas a la hora de acceder a grandes volúmenes de información
- El alto grado de dificultad a la hora de realizarles un mantenimiento

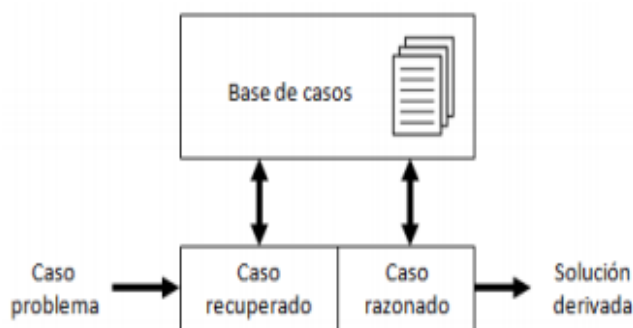
Debido a esto en la década de los 80 el profesor Roger Schank y sus estudiantes en la universidad de Yale propusieron los Sistemas de Razonamiento Basados en Casos (CBR). Un modelo de razonamiento basado en casos (CBR por sus siglas en ingles Case-based reasoning) es un modelo de resolución de problemas inspirado en el razonamiento humano y el uso de la

memoria. Los CBR proponen solucionar problemas tomando como base los problemas resueltos en el pasado. El proceso de resolver problemas a base de experiencia se puede observar con frecuencia en las áreas de medicina, derecho, diseño, ingeniería, cabe mencionar que el CBR puede ser también usado como parte de otro sistema convencional o inteligente (Lezcano, 2016).

La estructura interna de los CBR está compuesta por dos partes: la obtención del caso y el razonador del caso. La primera se encarga de encontrar los casos adecuados en la base de casos y la segunda de buscar una solución al problema en base a la descripción dada (Ortiz, Roas, Ochoa, 2014).

Figura 12.

Estructura interna CBR



Nota. La figura representa el comportamiento interno de un sistema CBR

Los diferentes sistemas CBR se pueden caracterizar en base a cuatro criterios: Procedencia del conocimiento (knowledge source), función, organización, distributividad (López, 2013, p.11).

Tabla 7.

Tipos de sistemas CBR

Procedencia del conocimiento	Función	Organización	Distributividad
Textual	Clasificación	Única	Memoria única

Estructural	Recomendación	Nivel múltiple	Memorias múltiples
Conversacional	Tutoría	CBR híbrido	Agente única
Temporal	Planificación	Meta CBR	Agente múltiple
Imágenes	Vigilancia		
	Gestión de		
	conocimientos		

La tabla muestra los tipos de sistemas CBR y sus diferentes clasificaciones.

El primer criterio es la procedencia del conocimiento, la cual se refiere a la forma de las experiencias pasadas o casos. En base a este criterio, se pueden identificar cinco tipos de razonamiento basado en casos:

- Textual: Cuando los documentos son principalmente textos y resulta sencillo la adquisición de colecciones con un volumen alto de documentos.
- Estructural: Cuando los casos se encuentran bien definidos según un vocabulario predefinido.
- Conversacional: Cuando un caso se define iterativamente por medio de una conversación entre el usuario y el sistema.
- Temporal: En el que la información representada en los casos tiene de forma implícita o explícita una relación temporal.
- Imágenes: Cuando se utiliza el CBR como medio de apoyo para la interpretación de imágenes, teniendo en cuenta los diferentes factores que influyen en dicho proceso.

El segundo criterio es la función para la cual se desarrolla el razonamiento basado en casos.

En este criterio las aplicaciones más relevantes son las siguientes:

- Clasificación: En esta se utiliza el CBR para predecir clases o etiquetas. Los dos tipos de clasificación más genéricos son:
- Pronóstico: Cuando la predicción consta de dos clases, positiva o negativa. Por ejemplo, el pronóstico sobre padecer o no una enfermedad
- Diagnóstico: Cuando hay un número discreto de clases sobre las cuales se realiza la predicción. Por ejemplo: El determinar si un funcionamiento es normal, anormal o hay una falla.
- Recomendación: Cuando se recomienda un producto al usuario partiendo de la base de productos adquiridos anteriormente o con un teniendo un patrón de similitud e interacciones con otros usuarios.
- Tutoría: Cuando se trata de la recopilación y evaluación de ejercicios en una determinada disciplina.
- Planificación: Cuando se ayuda a los planificadores de primer principio a ser más eficientes. En ese caso, el sistema CBR se llama planificador del segundo principio, ya que razona a nivel de planificación en lugar de acción (López, 2013, p. 12).

Un sistema típico CBR cumple con un ciclo desde que se da inicio al problema hasta que se tiene una solución, este ciclo abarca cuatro partes (Ortiz, Bañuelos, Ochoa, 2016):

- Recuperación de los casos o problemas más importantes: El nivel de calidad en los resultados depende en parte de las medidas de similitud usadas para la recuperación de casos o problemas similares. Las técnicas de softcomputing más comunes utilizadas en esta parte del CBR son: lógica difusa, la clasificación de casos, probabilidad, modelos bayesianos para la selección de casos, entre otros. En esta fase el problema es comparado con los datos que se tienen en la base de casos todo en base a determinar un grado de

similitud del caso nuevo (o problema) con respecto a los establecidos en la base de información.

- Adaptación de los casos o problemas con el objetivo de solucionar el reciente problema: La adaptación o reutilización se da por medio de la integración de los casos que se recuperaron con anterioridad. En esta adaptación se pueden emplear los razonamientos difusos interactivos y convencionales, así como enfoques difuso-neurales. Hay tres formas de adaptación que suelen ser las más usadas: sustitución, transformación y adaptación generativa
- Revisión de la solución propuesta si es necesario: Se lleva a cabo la evaluación de la solución generada en la adaptación del caso, en caso de que dicha solución requiera alguna modificación, esta se realizara en cada fase y se le denominara fase de reparación. Cabe mencionar que el éxito o fracaso de las soluciones generadas se puede convertir en información útil para mejorar el CBR. Las técnicas que se suelen utilizar en esta fase son: redes neuronales, enfoques evolutivos y reglas de adaptación usando teorías de conjunto.
- Almacenamiento de la solución propuesta como parte de un nuevo caso: El nuevo caso y su solución son retenidos o almacenados en la base de casos para su respectivo uso en un futuro, eso quiere decir, que la solución ya fue totalmente revisada y validada. La decisión de si el nuevo caso se debe almacenar en la base de casos depende principalmente de la utilidad que pueda llegar a tener este en un futuro. Algunas de las técnicas empleadas en esta parte son: redes neuronales, reglas difusas, teoría de conjuntos. Debido a que el aprendizaje se de manera constante es necesario llevar a cabo mantenimientos a la base de casos para que así esta se pueda mantener en correcto funcionamiento, teniendo en cuenta que se espera que el algoritmo funcione perfectamente en dispositivos electrónicos como

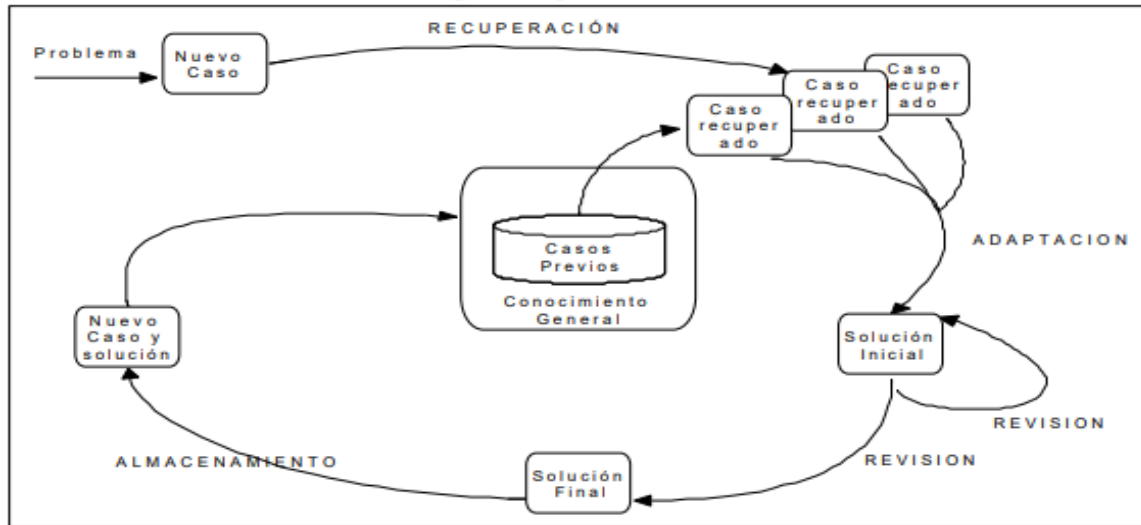
los computadores sin necesidad de que estos requieran tener un espacio de almacenamiento alto.

Algo que es necesario tener en cuenta es la representación de casos ya que su importancia radica en definir un caso como una pieza de conocimiento que representa una experiencia y por ende una solución a un problema, a su vez un conjunto de casos suele ser llamados bases de casos o librerías de casos, los cuales se representan como un par atributo-valor especificando el problema y su solución. En algunas situaciones el caso puede contener un tercer elemento que es el resultado, es decir, el estado del problema una vez que la solución fue aplicada.

La función del algoritmo de recuperación consiste en buscar y seleccionar en la memoria del CBR los casos que presenten una mayor similitud con respecto al problema a resolver. En general las soluciones de los casos seleccionados son adaptadas para generar una posible solución, dicha solución se revisa y por ende se crea un nuevo caso el cual se almacena en la memoria. Los CBR son sistemas de aprendizaje incremental debido a que cada vez que resuelven un problema es posible crear nuevos casos que se pueden almacenar en la memoria de estos sistemas para su posterior utilización.

Figura 13.

Ciclo CBR



Nota. La figura representa el ciclo que debe llevar a cabo el sistema CBR y sus diferentes fases.

2.9.1 Ventajas y desventajas del CBR

En los CBR podemos analizar ciertas características que nos permiten ver si dicho algoritmo es el más apropiado para su respectivo uso en un dominio o temática particular las cuales son:

- Los dominios no tienen modelos esenciales
- Los casos se suelen repetir con frecuencia
- Se pueden obtener beneficios significativos en la adaptación de las soluciones pasadas

Las ventajas que nos trae un CBR son:

- Se reducen las actividades referentes a la adquisición de conocimiento
- Evita la repetición de errores que se realizaron en el pasado
- Se encarga de proveer una flexibilidad en la forma de modelar el conocimiento
- Permite llevar un cabo un razonamiento con datos incompletos o imprecisos
- Se pueden desarrollar predicciones de éxito en base a las soluciones propuestas
- Su algoritmo es capaz de tener comportamientos similares a los del razonamiento humano.

Las desventajas de usar CBR son:

- El tamaño de la base de casos va en aumento lo que implica que se tenga que realizar mantenimientos para la base de casos para que así esta siga siendo útil para la solución de problemas.

3. Metodología de construcción de un modelo CBR

A continuación, se mostrarán las fases para el desarrollo de un modelo CBR, el cual se empleará para la realización de un recomendador de características de diseños luminotécnicos.

3.1 Fase de recuperación

Esta fase se realizará partiendo de la información que se ha recolectado de los diseños luminotécnicos en entornos residenciales y educativos, de modo que se puedan realizar clasificaciones y se pueda extraer la información más relevante de dichos diseños.

3.1.1 Búsqueda de los casos de estudio de iluminación en entornos residenciales y educativos

Se realizó una búsqueda de diseños de iluminación en los diferentes sitios de internet referentes al área de iluminación, en los cuales no se encontró información relevante para este proyecto. Por ende, surge la necesidad de consultar con ingenieros del área de iluminación residentes en la ciudad de Bogotá. Uno de ellos realizó la colaboración y suministró una serie de diseños elaborados por diversos ingenieros, a los cuales dicho ingeniero realizó su respectiva inspección. En los diseños suministrados se encuentran diseños de iluminación de zonas como: salones comunales, oficinas, hospitales, aulas estudiantiles, entre otros.

El contacto con los ingenieros se realizó por medio del director del proyecto. Por otra parte, para la obtención de estos diseños se llegó a un acuerdo de confidencialidad en el cual se estableció que solo se podían utilizar dichos diseños para la elaboración de este proyecto.

Los diseños suministrados por el ingeniero se encuentran realizados en el software de iluminación llamado DIALUX y debidamente evaluados e inspeccionados por parte de inspectores RETIE-RETILAP, los cuales sirven como apoyo a la hora de realizar los análisis del diseño, ya que en la universidad se trabaja principalmente con dicho software. También se tuvo en cuenta que los diseños estuvieran destinados al desarrollo de lugares o zonas comunes en el ámbito colombiano.

3.1.2 Ordenamiento de la información recopilada

Se procede a organizar la información de acuerdo con el ingeniero y el número de diseños que fueron suministrados por cada uno.

Tabla 8.

Ordenamiento de la información recopilada

Ingeniero	Cantidad de diseños
Ingeniero 1	8
Ingeniero 2	6
Ingeniero 3	2
Ingeniero 4	3
Ingeniero 5	4
Ingeniero 6	17

La tabla muestra el número de diseños que suministro cada ingeniero para el desarrollo de este proyecto

3.1.3 Clasificación de los tipos de lugares

Teniendo los diseños se pudo desarrollar una clasificación de estos en base al tipo de lugar para el cual se hubiera llevado a cabo el respectivo diseño de iluminación, entre los lugares clasificados tenemos:

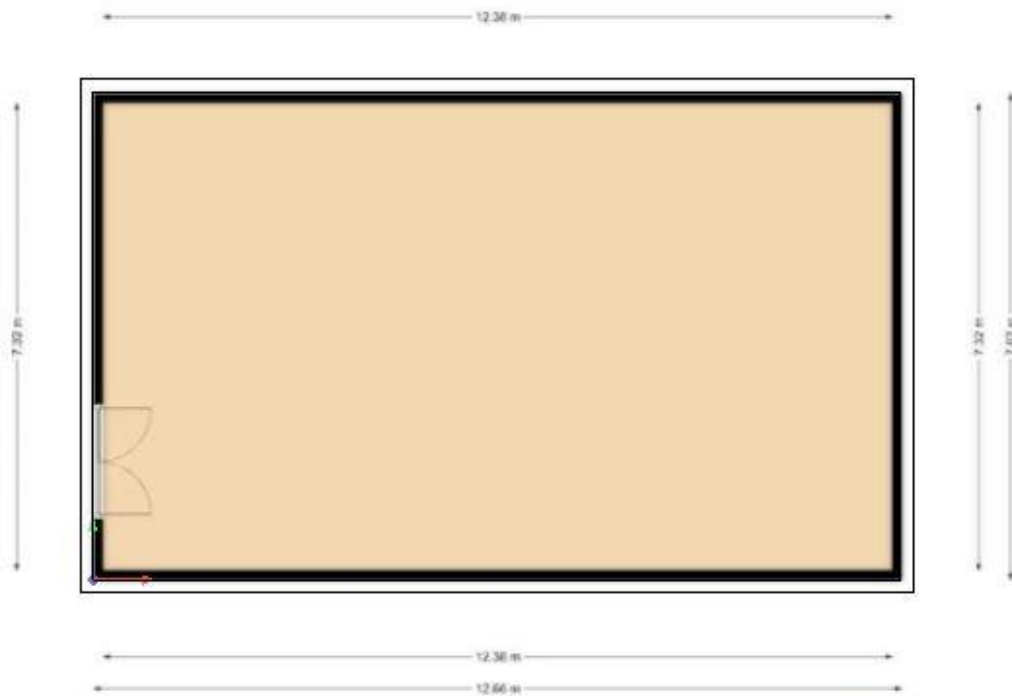
- Aulas estudiantiles
- Parqueaderos
- Cocinas
- Salones comunales
- Zonas de escaleras
- Bibliotecas estudiantiles
- Oficinas
- Cuartos de aseo
- Baños

3.1.4 Caracterización de espacios

La forma mas adecuada de analizar un espacio es a partir de las características que lo conforman, en este proyecto esas características serán de dos tipos: tanto luminotécnicas como de espacio y forma. Para la extracción de esas características se realizaron dos tipos de análisis el primero a partir de un plano arquitectónico del que se hablara a continuación, y el segundo se llevó a cabo por medio de una simulación en Dialux.

Figura 14.

Plano caracterización



Para caracterizar los espacios en base a las necesidades que se puedan tener para realizar un diseño luminotécnico se llevó a cabo un análisis de los datos o características que podrían extraerse de un plano arquitectónico promedio, para dicho análisis se tomó como referencia el plano representado en la figura (14). Las características más relevantes del plano son las siguientes:

- Forma del lugar: La forma del lugar permite determinar la cantidad de luminarias que pueden ser colocadas y en los diversos posicionamientos que pueden llegar estas a tener, además estas formas de espacio pueden influir en los niveles de deslumbramiento que se pueden presentar y por ende es de suma importancia tener en cuenta esta caracterización ya que posee un papel fundamental para una buena iluminación. Algunas posibles formas de lugar que se pueden encontrar: Rectangulares, circulares, cuadradas entre otras.
- Altura del lugar: La altura del lugar sirve da una guía para determinar a qué altura se pueden montar las luminarias respecto al suelo, esta altura también puede influir en el nivel de iluminación adecuado para las características del lugar.

- Ancho y largo del lugar: Este conjunto de características permite tener una idea del área del lugar, además influyen en la distribución de las luminarias para una buena iluminación del lugar.
- Área del lugar: El área tiene una gran influencia en la cantidad de iluminancia requerida en un determinado lugar, además puede ser un criterio necesario a la hora de determinar la cantidad de luminarias para poder satisfacer las necesidades del usuario. A partir de un área se puede categorizar un espacio, de modo que hay áreas estándar que identifican el uso que tendrá en específico un lugar, por ejemplo, es de esperarse que un área promedio de 54 m² pueda representar el área de un salón de clases mientras que un espacio de 8.55 m² posiblemente sea utilizado para la implementación de una cocina. También hay que tener en cuenta que el área es un factor fundamental a la hora de analizar fenómenos de deslumbramiento y nivel de presencia de iluminación natural en dichos espacios, además es un ítem para tener en cuenta a la hora de realizar presupuestos destinados a los diseños de iluminación.
- Tipo de lugar: Esta no es una característica que se extrajo del plano, pero la cual se debe tener en cuenta debido a que es importante para saber la cantidad de iluminación necesaria del lugar en base al reglamento técnico (RETILAP).

3.1.5 Uso de software luminotécnico

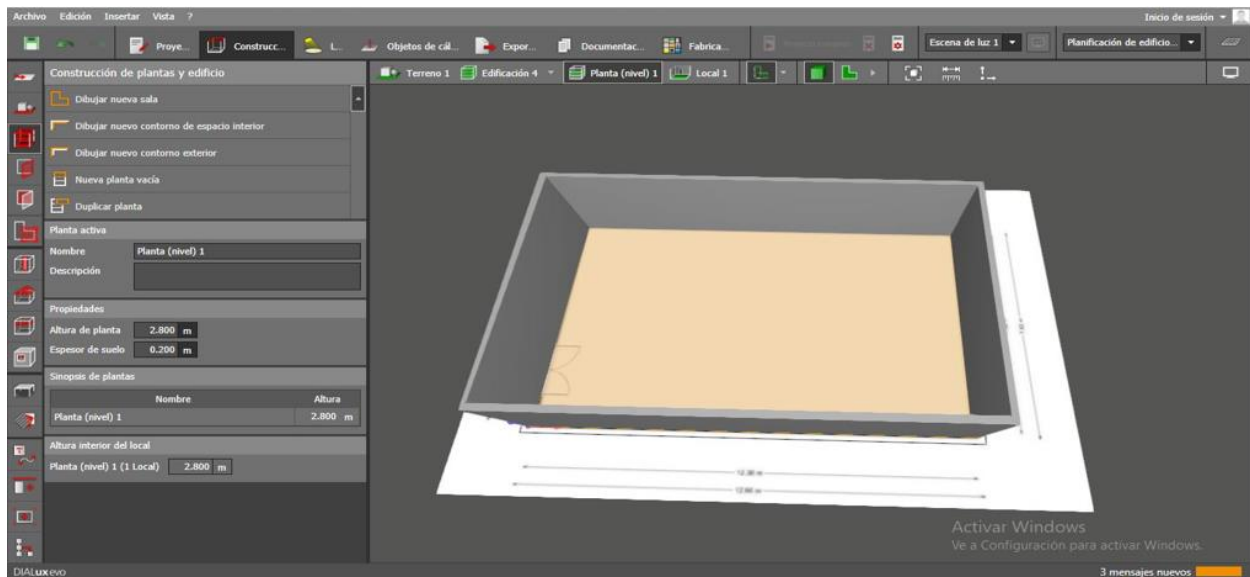
Para determinar las características luminotécnicas de un lugar se realizó una simulación de un salón comunal en el software Dialux, a continuación, se muestra el proceso de elaboración del diseño de iluminación para dicho espacio.

Paso 1: Se procede a abrir el software Dialux y se realiza la importación del plano al cual se requiere realizar el diseño de iluminación. Este se puede detallar en la figura (14).

Como se observa en la figura (15) por medio del plano se genera un levantamiento de las paredes y puerta del salón comunal.

Figura 15.

Levantamiento de paredes y puerta

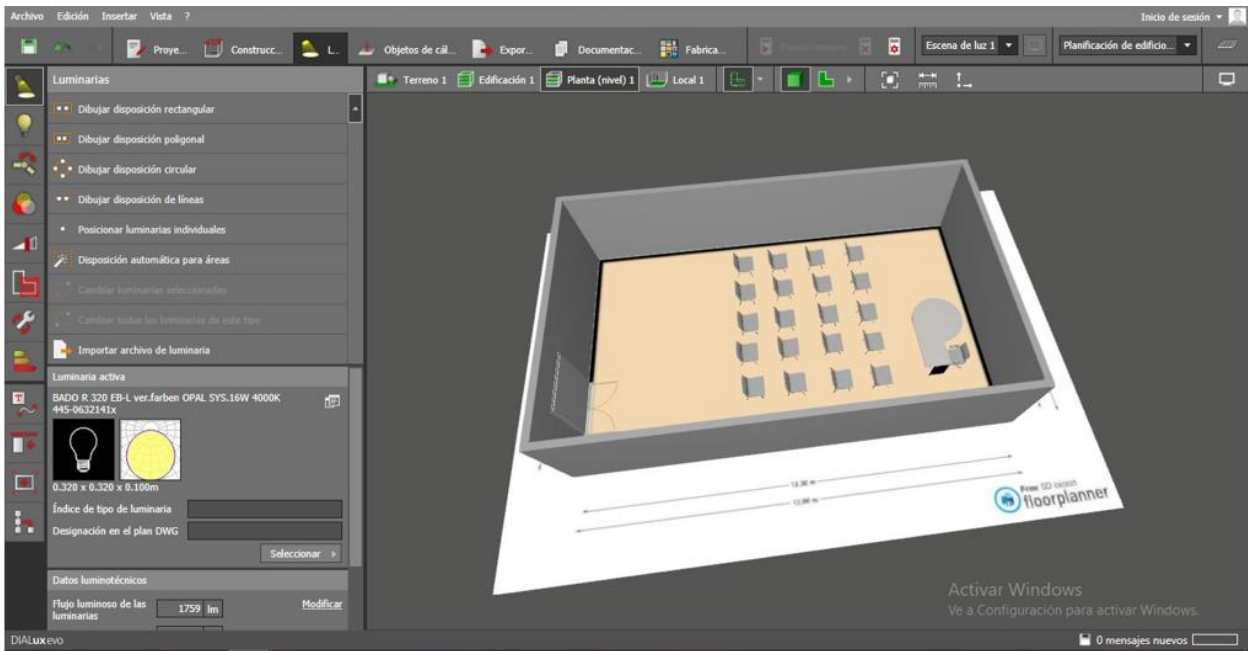


Nota. La figura muestra el levantamiento de las paredes y puertas del plano sobre el cual se trabajó en el software Dialux.

Luego se realiza la colocación de todo el mobiliario que estará ubicado dentro del salón comunal, para que en el momento de ubicar las luminarias pueda obtenerse una buena simulación del nivel de iluminancia del lugar. Esto se puede observar en la figura (16).

Figura 16.

Elementos materiales del salón comunal



Nota. La figura muestra la ubicación de los elementos materiales del plano.

Paso 2: Se procede a la búsqueda y elección del tipo de luminaria a utilizar en el diseño de iluminación para el salón comunal, dicha luminaria debe tener los datos luminotécnicos presentes en la figura (17).

Figura 17.

Datos luminotécnicos de la luminaria

Datos luminotécnicos	
Flujo luminoso de las luminarias	3974 lm Modificar
Potencia de conexión	35.0 W
Rendimiento lumínico	113.5 lm / W
Lámpara	LED / 31W / 4000K_600/625 3974 lm 4000 K 35.0 W

Nota. La figura muestra las características luminotécnicas de las luminarias.

Figura 18.

Luminaria utilizada en el diseño

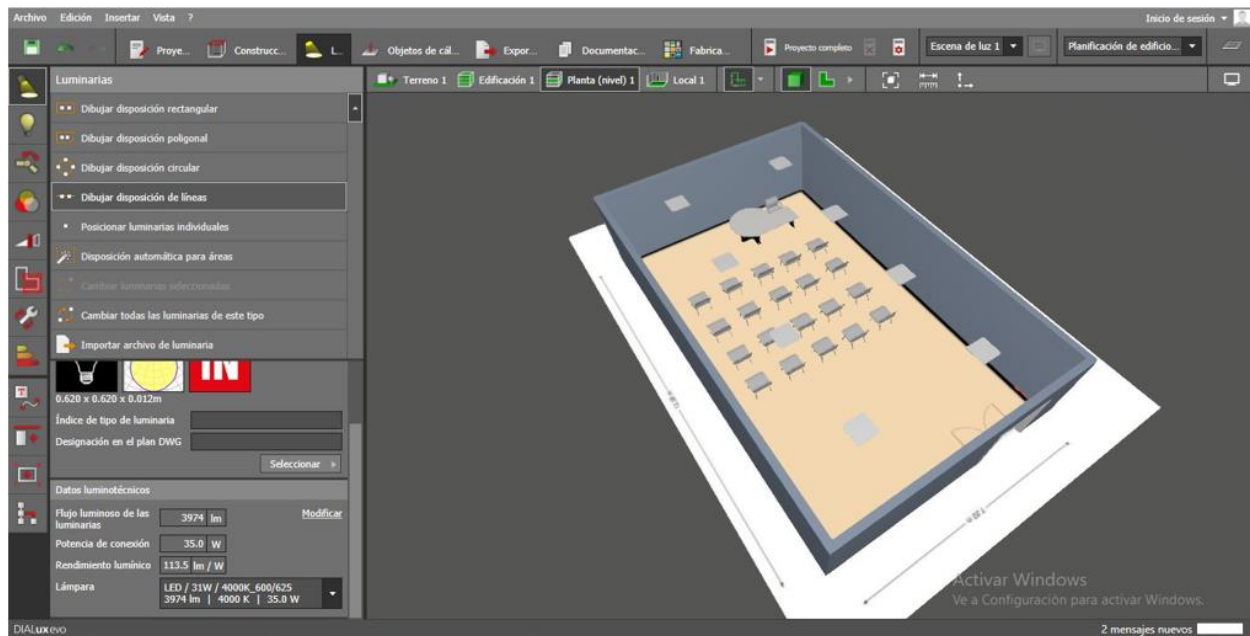


Nota. La figura muestra el tipo de referencia de la luminaria.

Paso 3: En las Figuras (19) y (20) se observa una distribución de luminarias que permite cumplir con el nivel de iluminancia requerido por el reglamento técnico RETILAP para el caso de un salón comunal. Dicho nivel de iluminancia media seria de 200 lx.

Figura 19.

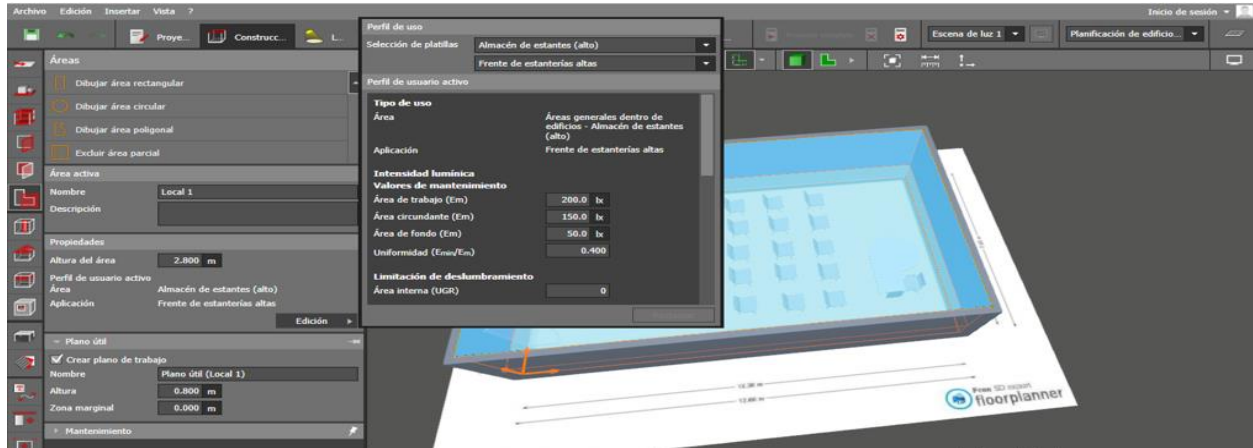
Ubicación de luminarias



Nota. La figura muestra la distribución de las luminarias.

Figura 20.

Nivel de iluminancia requerido

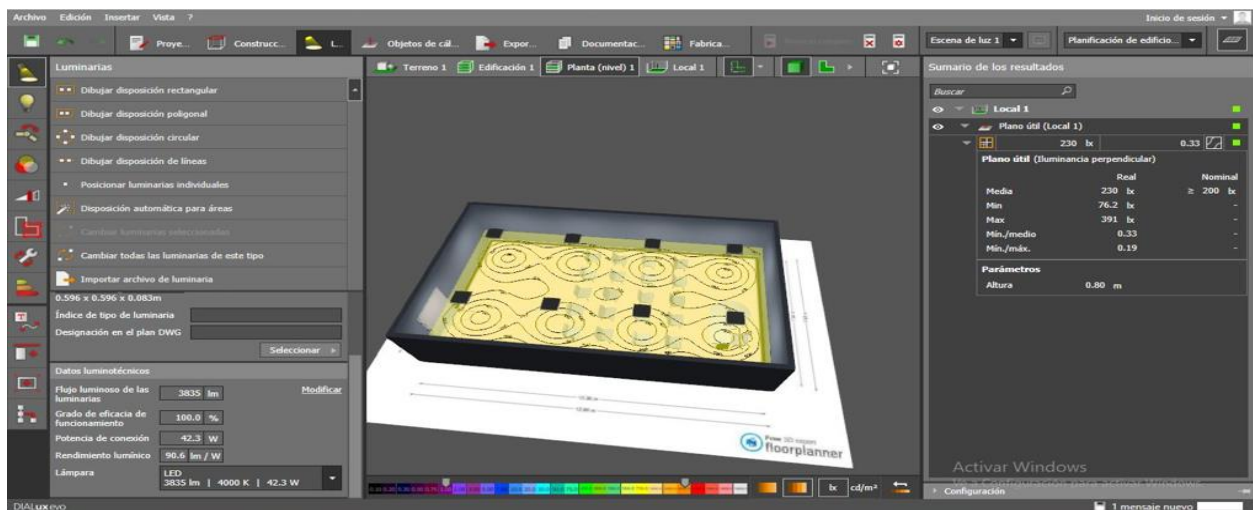


Nota. La figura muestra el nivel de iluminancia que se requiere para el diseño.

Paso 4: En este último paso se lleva a cabo la respectiva simulación para poder comprobar si la cantidad de luminarias son las adecuadas para el diseño de iluminación. En la figura (21) se observa que el software Dialux da el visto bueno sobre el diseño cuando el valor de iluminancia medio arrojado por la cantidad de luminarias están entre los valores nominales de iluminancia mínima, máxima y media considerados en el RETILAP.

Figura 21.

Simulación

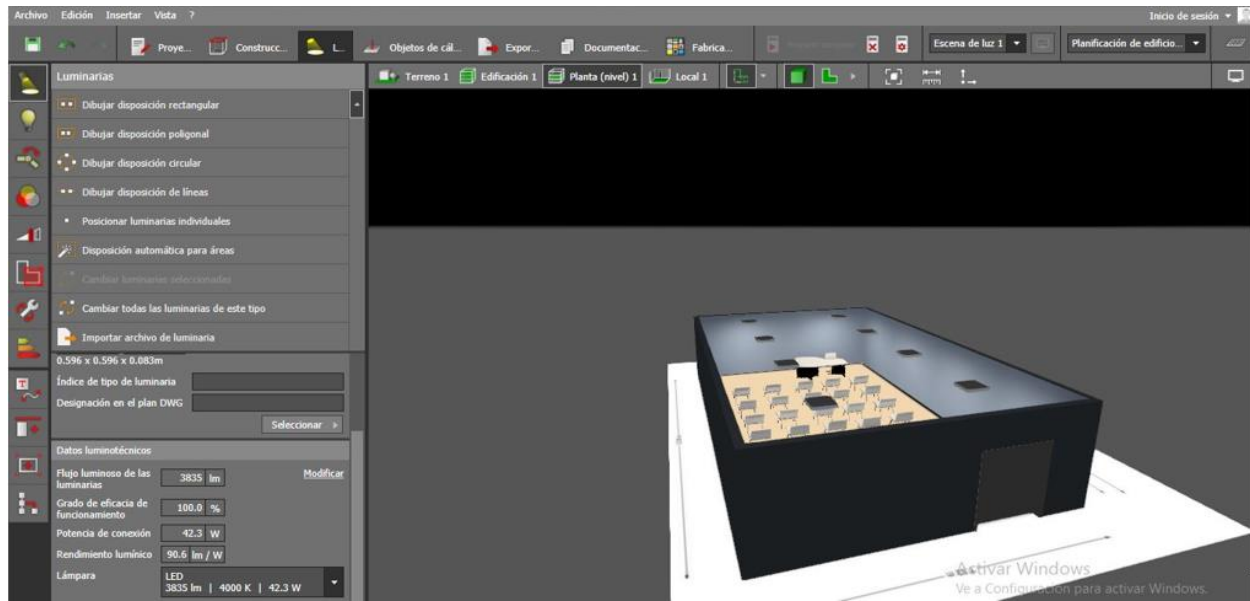


Nota. La figura muestra la simulación realizada en el software.

Por último, al obtener el visto bueno de Dialux se procede a crear la escena de luz para observar el resultado final. Lo anterior se puede observar en las figuras (22) y (23).

Figura 22.

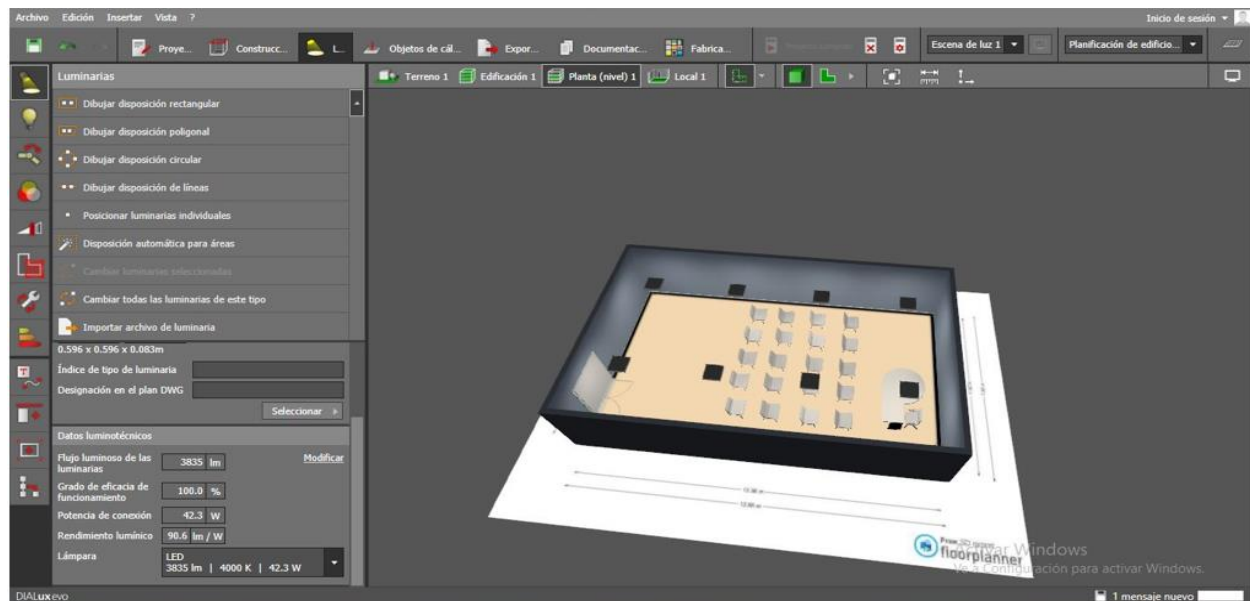
Plano con luminarias encendidas



Nota. La figura muestra el resultado de la simulación, es decir, el diseño con luminarias encendidas.

Figura 23.

Plano con luminarias encendidas



Nota. La figura muestra una vista superior del diseño con luminarias encendidas.

Una vez realizado el diseño de iluminación en Dialux se procederá a extraer las características que se requieren en el algoritmo para la realización del diseño, listadas a continuación:

- Nivel de iluminancia
- Tipo de luminaria
- Cantidad de luminarias
- Altura del montaje
- Tipo de lugar
- Forma del lugar
- Área

Teniendo presente lo anterior se procede a la elaboración de los casos con la información extraída de las características. De modo que la base principal de un caso estaría fundamentada en los siguientes datos:

- Tipo de lugar
- Forma de lugar
- Área
- Nivel de iluminancia media del plano útil
- Nivel de iluminancia mínima del plano útil
- Nivel de iluminancia máxima del plano útil
- Altura del local

3.1.6 Asignación de puntajes para las características

Para el desarrollo de la metodología se asignó un valor de 0 a 1 a las características extraídas del análisis de la simulación del diseño en Dialux, dicho valor representará el nivel de importancia o incidencia que tiene cada característica sobre el diseño de iluminación. A continuación, se mostrarán los valores de importancia que se establecieron usando como criterio lo observado durante el desarrollo de la simulación en Dialux.

Características según su importancia:

- Nivel de iluminancia media 1

Al ser el nivel de iluminancia que se toma como punto de referencia para la aprobación de un buen nivel de iluminación, la mayoría de los programas luminotécnicos se enfocan en solicitar al usuario el nivel de iluminancia media para la aprobación mencionada.

- Nivel de iluminancia mínima 0.9

Se le da este nivel de importancia ya que todo lugar debe tener un mínimo nivel de iluminancia para que el usuario se sienta a gusto y se eviten problemas que afecten a su bienestar.

- Nivel de iluminancia máxima 0.9

Se le da este nivel de importancia ya que todo lugar debe tener un máximo nivel de iluminancia para que el usuario no tenga problemas de deslumbramiento.

- Área 0.8

La importancia de esta característica recae en que es un parámetro que permite determinar la distribución de la luz en un espacio.

- Forma de lugar 0.75

Se le da este nivel de importancia ya que es un parámetro que junto con el área influyen en la distribución de la luz y en la cantidad de elementos a utilizar en la iluminación del lugar.

- Altura del lugar 0.7

Su importancia es debida a su influencia en la cantidad de luz que pueden proyectar las luminarias sobre las diversas zonas del lugar (paredes, suelo, elementos materiales, etc.)

- Altura del montaje 0.7

Esta característica presenta una misma importancia a la altura del lugar debido a que también tienen una influencia en la cantidad de luz que pueden proyectar las luminarias, cabe mencionar que la altura del montaje se tiene presente ya que no es necesario que la luminaria este a la misma altura del lugar.

- Cantidad de luminarias 0.8

Su importancia se encuentra en que son las encargadas de generar la cantidad luz o nivel de iluminancia necesario para el lugar. A demás desde el punto de vista del diseñador se busca que dicha cantidad de luminarias este acorde con el espacio disponible en el lugar.

- Potencia de la luminaria 0.7

Su importancia recae en que es necesario controlar la cantidad de potencia que pueden consumir las luminarias.

- Flujo luminoso 0.8

Su importancia se encuentra en que es un indicador de la cantidad de potencia luminosa que se puede percibir.

- Rendimiento luminoso 0.7

Esta característica es importante ya que permite ver que tan eficiente son las luminarias para así seleccionar un tipo de luminaria.

- Tipo de luminaria 0.9

Es necesario tener presente esta característica a la hora de adquirir una luminaria, ya que no todas las marcas de luminarias presentan las mismas especificaciones.

- Tipo de lugar 1

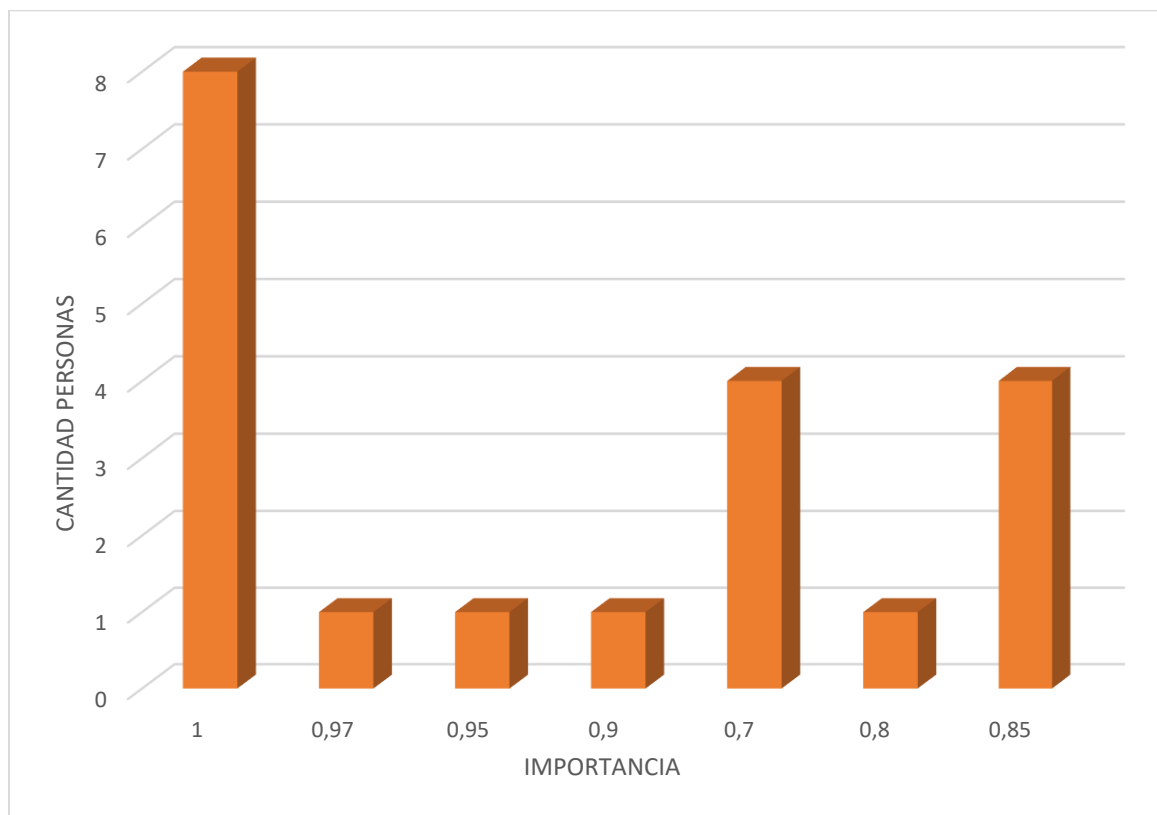
Se tiene en cuenta esta característica ya que es la manera de identificar la función que cumplirían las luminarias dependiendo de las actividades que se puedan realizar en el lugar a implementar las luminarias.

3.1.7 Encuesta

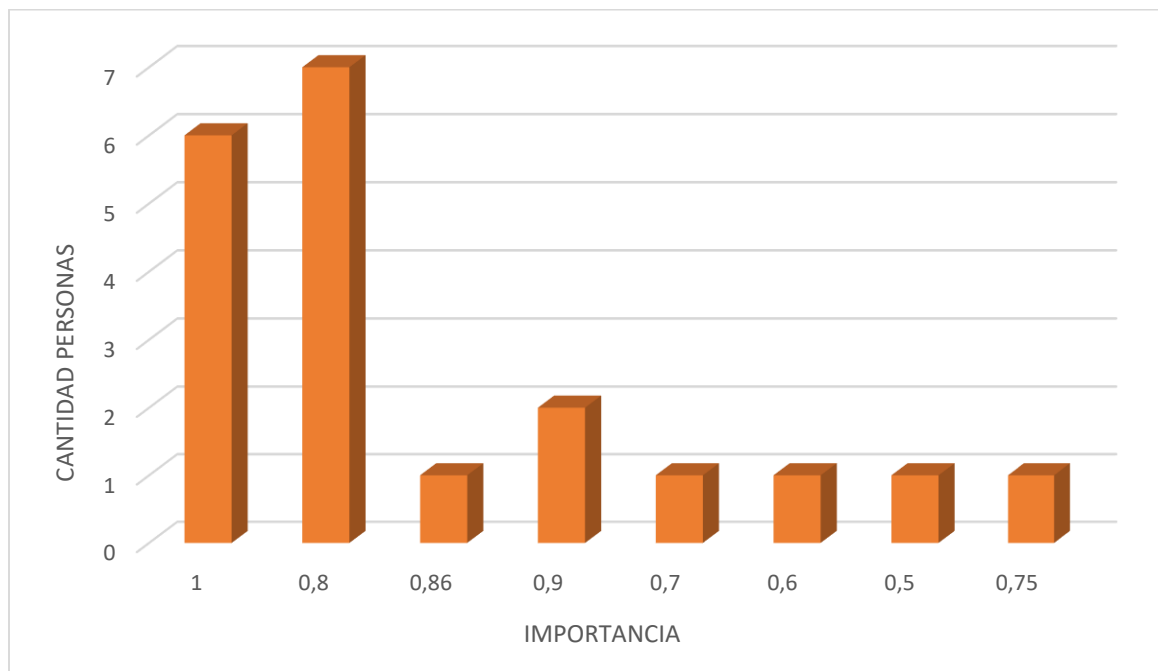
Para tener una opinión más precisa sobre los valores adecuados para la importancia de las características de diseños de iluminación se realizó una encuesta, donde se encuestaron a 10 estudiantes de la rama de ingeniería eléctrica que cursaron la asignatura de instalaciones eléctricas y a 10 profesionales con conocimientos en el área de iluminación.

Figura 24.

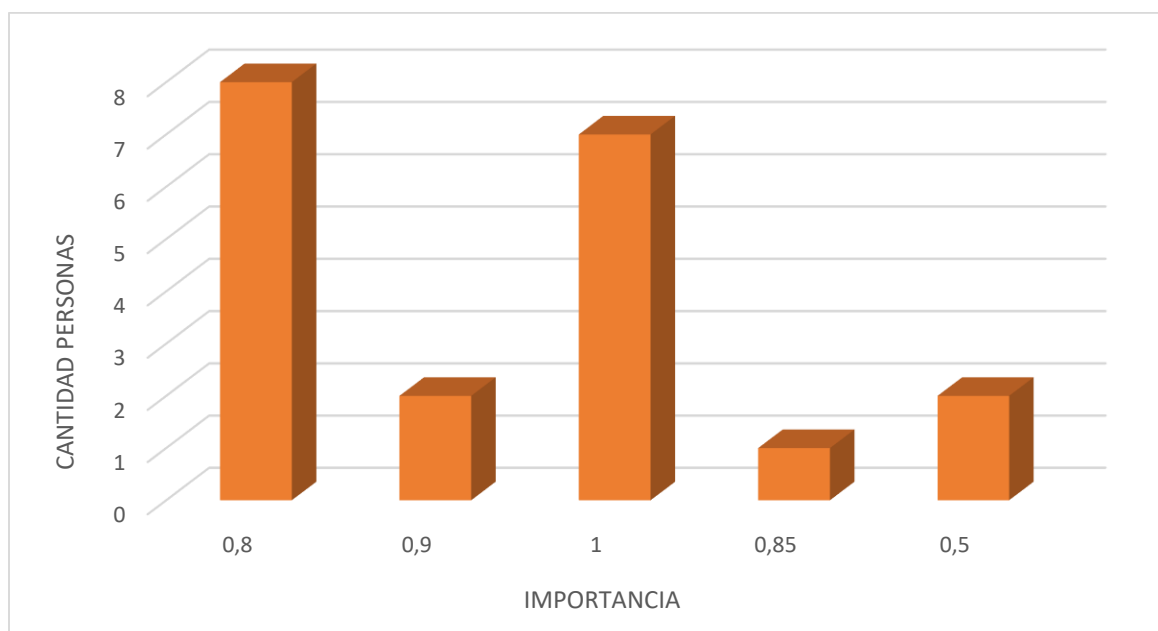
Encuesta tipo de lugar



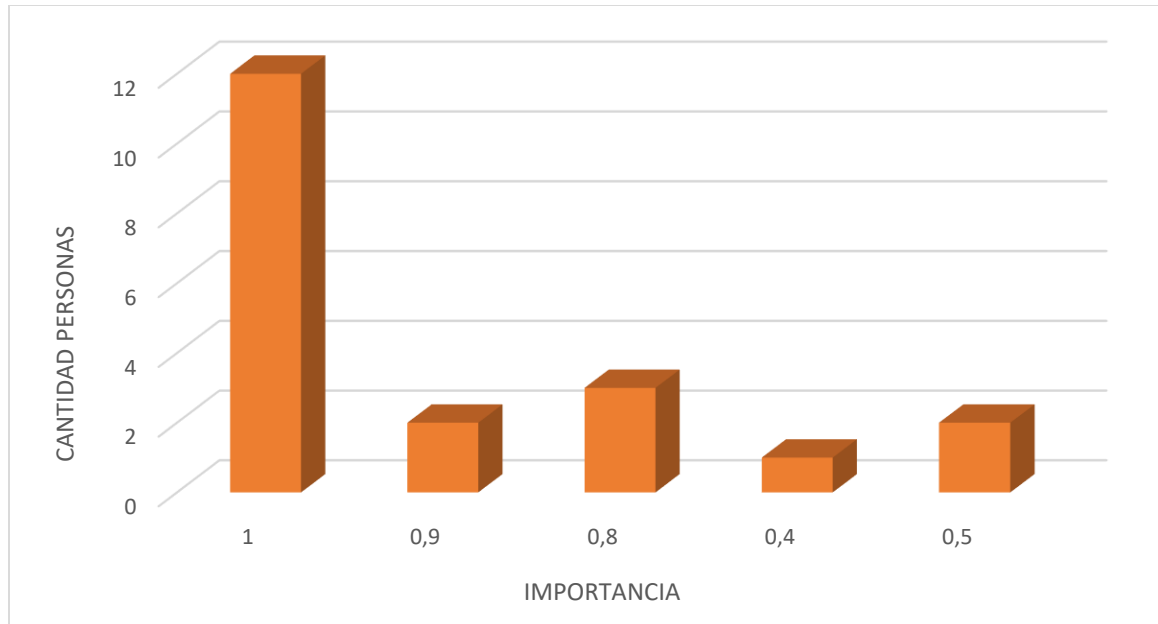
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del tipo de lugar en un diseño de iluminación.

Figura 25.*Encuesta forma de lugar*

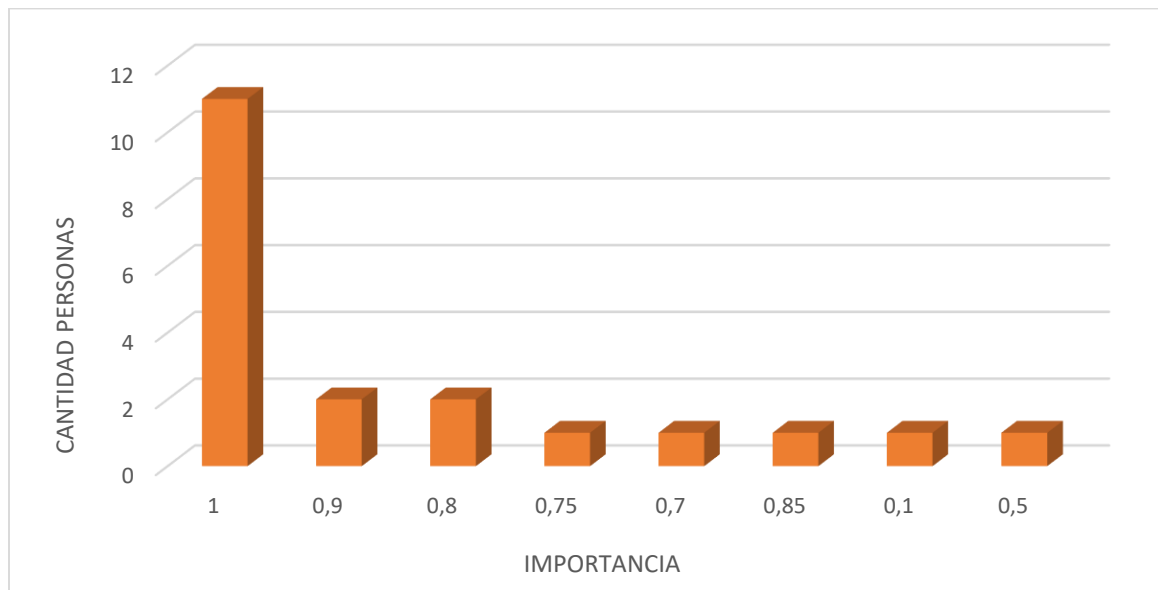
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia de la forma del lugar en un diseño de iluminación.

Figura 26.*Encuesta área*

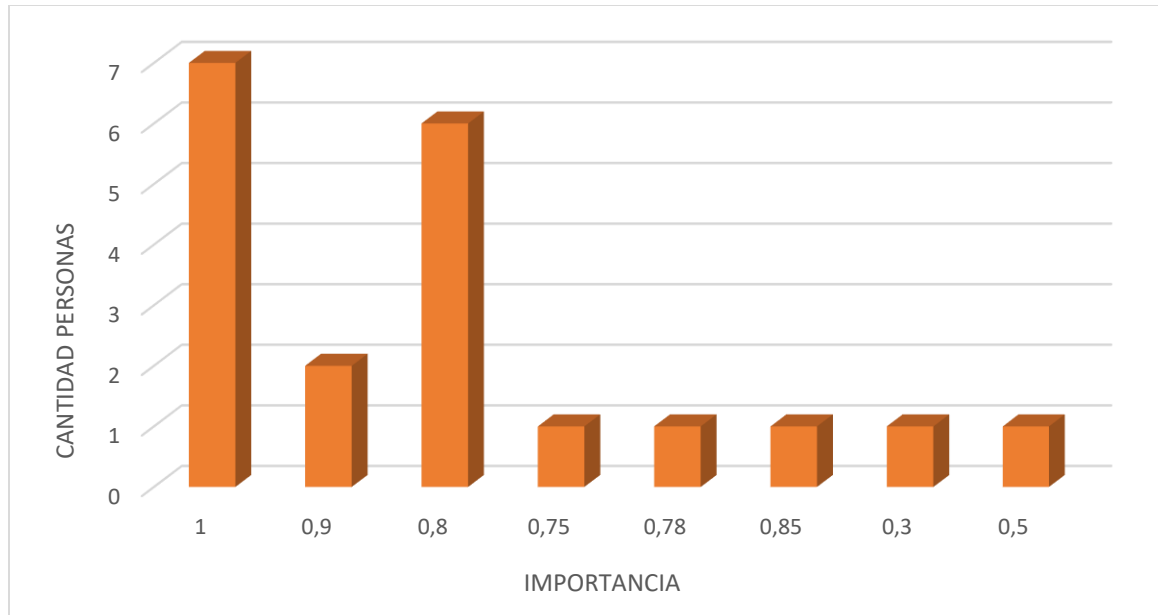
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del área en un diseño de iluminación.

Figura 27.*Encuesta nivel de iluminancia media*

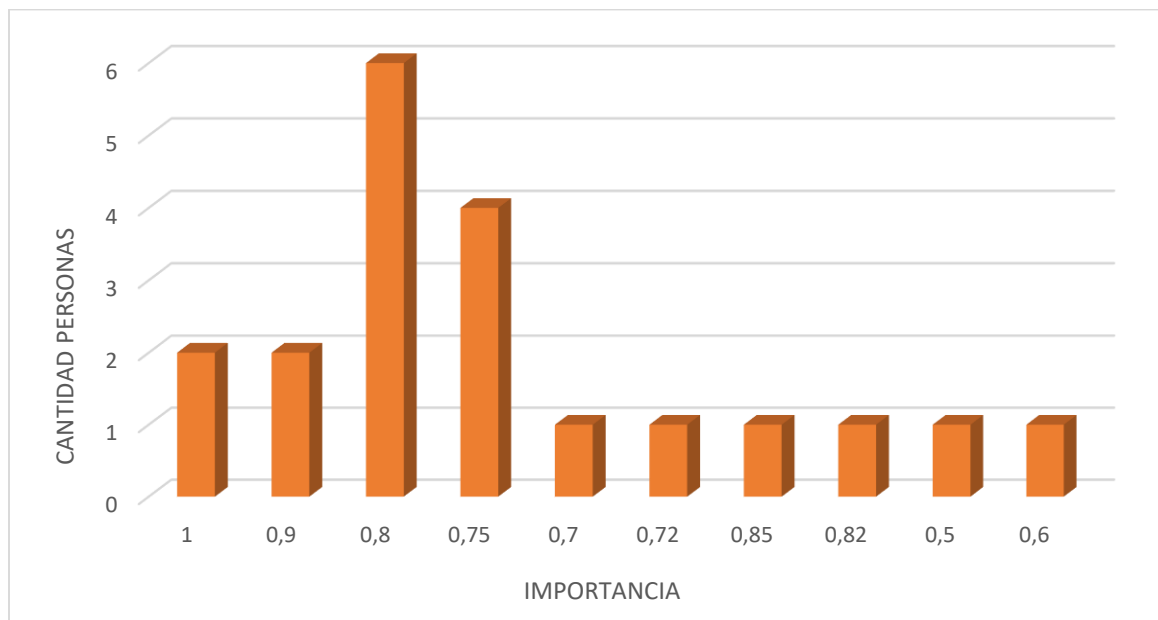
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del nivel de iluminancia media en un diseño de iluminación.

Figura 28.*Encuesta nivel de iluminancia máxima*

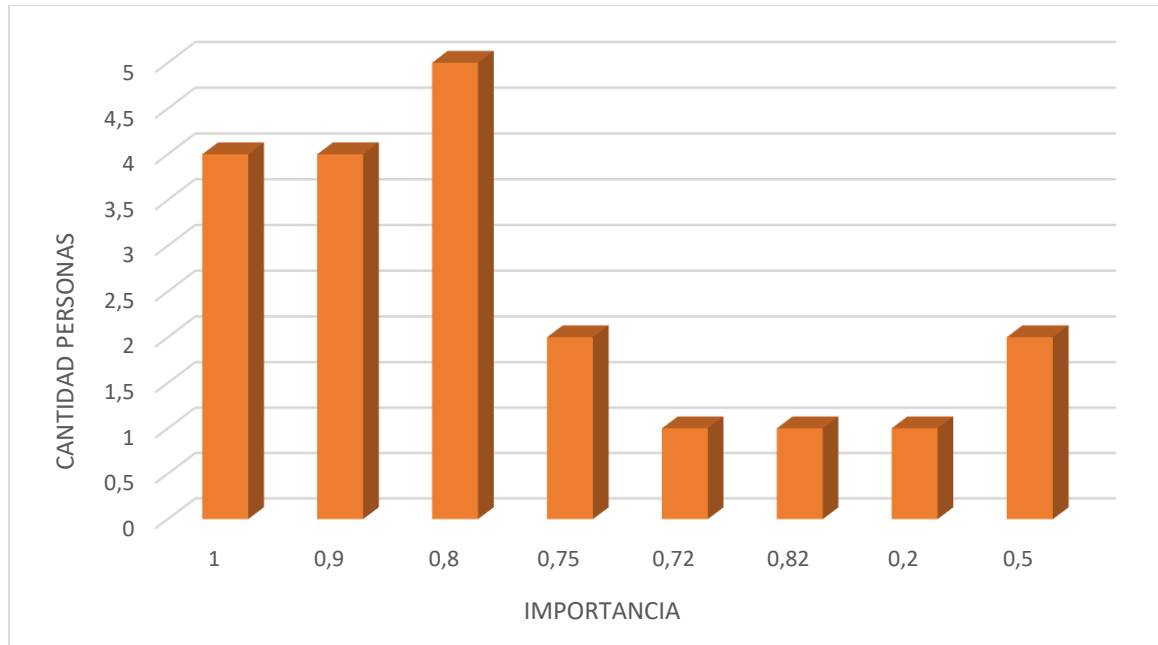
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del nivel de iluminancia máxima en un diseño de iluminación.

Figura 29.*Encuesta nivel de iluminancia mínima*

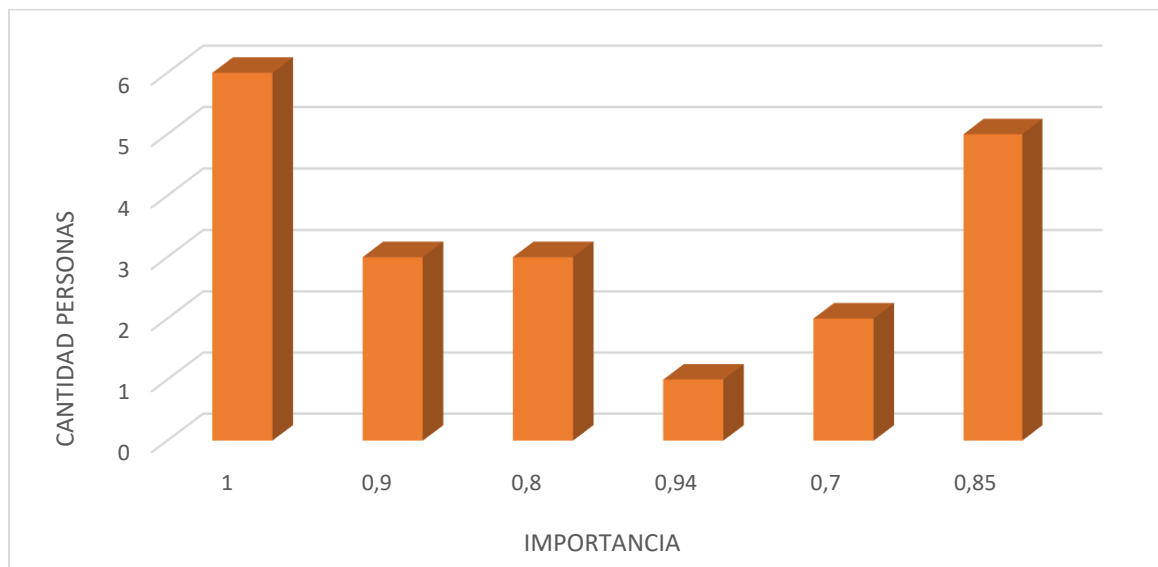
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del nivel de iluminancia mínima en un diseño de iluminación.

Figura 30.*Encuesta altura del lugar*

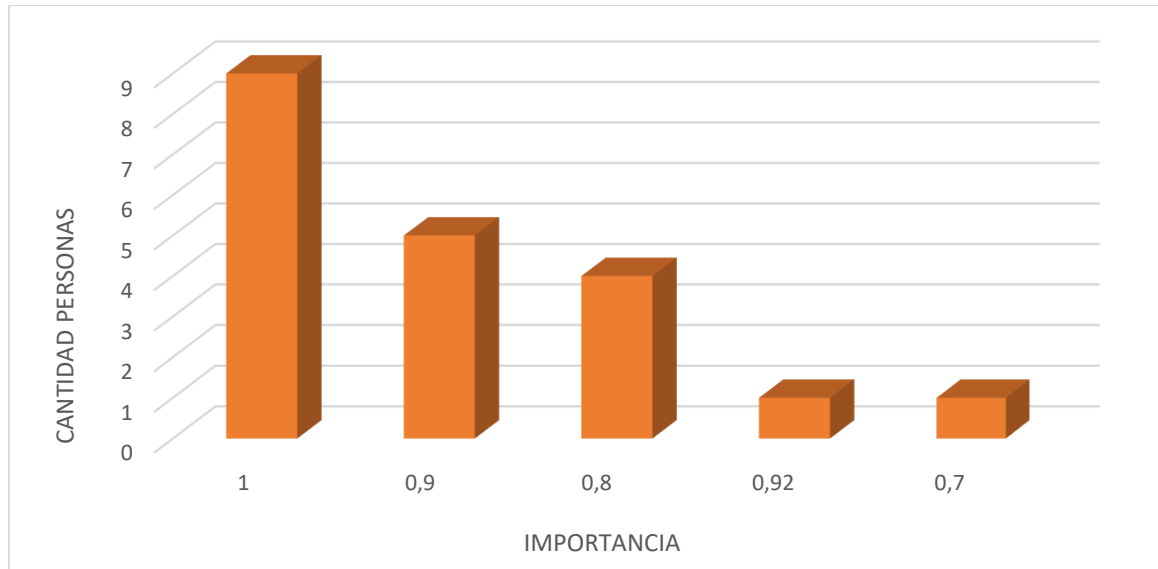
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia de la altura del lugar en un diseño de iluminación.

Figura 31.*Encuesta altura del montaje*

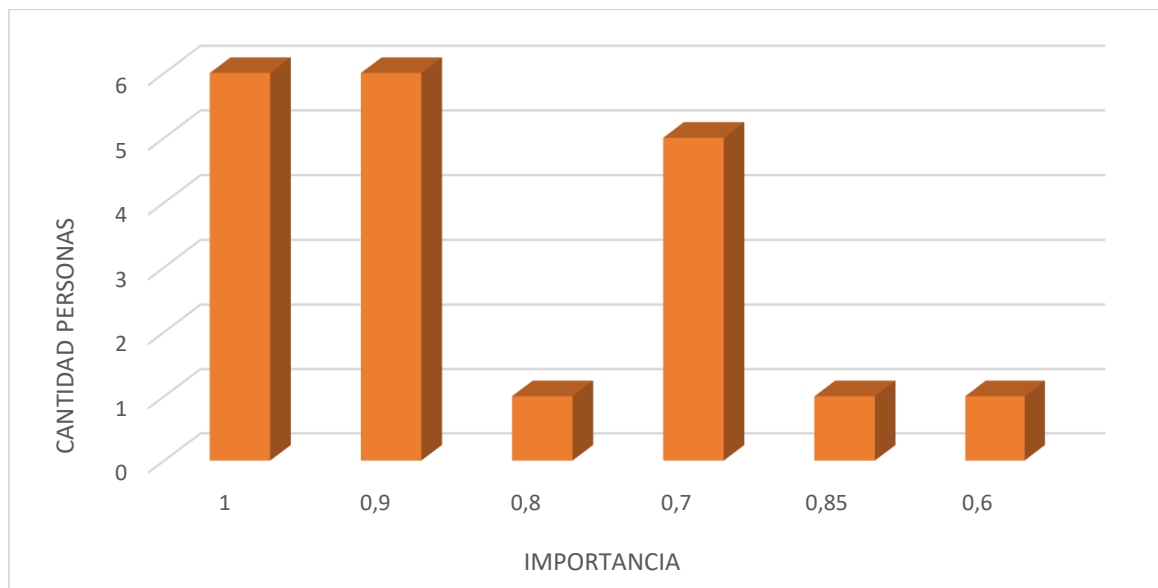
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia de la altura del montaje en un diseño de iluminación.

Figura 32.*Encuesta tipo de luminaria*

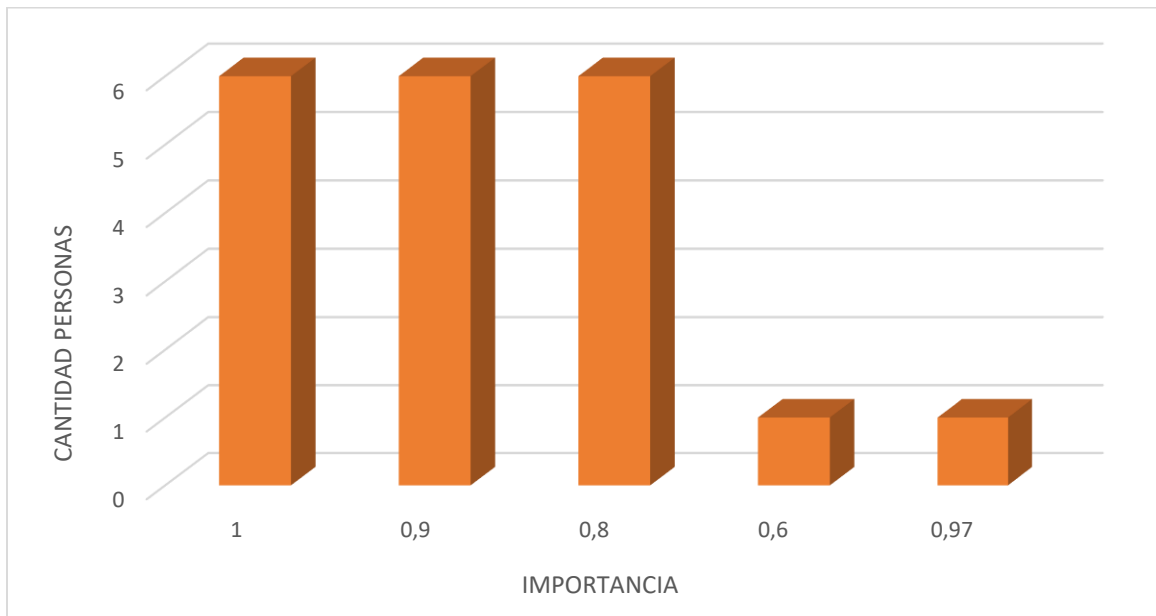
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del tipo de lugar en un diseño de iluminación.

Figura 33.*Encuesta potencia de la luminaria*

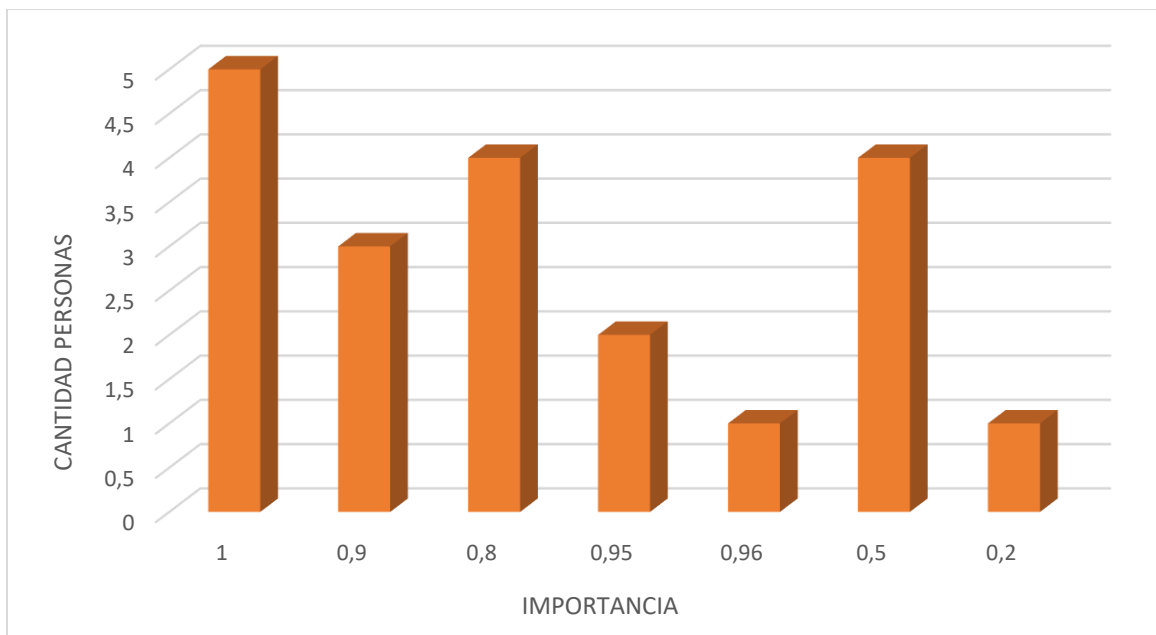
La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia de la potencia de la luminaria en un diseño de iluminación.

Figura 34.*Encuesta rendimiento lumínico*

La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del rendimiento lumínico en un diseño de iluminación.

Figura 35.*Encuesta flujo luminoso*

La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia del flujo luminoso en un diseño de iluminación.

Figura 36.*Encuesta cantidad de luminarias*

La figura representa la distribución de puntajes que cada encuestado escogió para determinar la importancia de la cantidad de luminarias en un diseño de iluminación.

A continuación, en base a las importancias obtenidas en la encuesta y las que fueron asignadas, se realizó un promedio de los datos obtenidos tanto de la encuesta como de la asignación que se estableció usando como criterio la simulación.

Tabla 9.

Puntaje de los lugares

CARACTERISTICAS	NIVEL DE IMPORTANCIA
Tipo de lugar	1
Forma de lugar	0.75
Nivel de iluminancia media	1
Nivel de iluminancia máxima	0.95
Nivel de iluminancia mínima	0.95
Área	0.8
Altura del montaje	0.75
Altura del lugar	0.75
Tipo de luminaria	0.95
Cantidad de luminarias	0.9
Rendimiento lumínico	0.8
Potencia de la luminaria	0.85
Flujo luminoso	0.9

La tabla muestra el nivel de importancia de cada característica en base a lo obtenido en la encuesta y a la simulación realizada en el software Dialux.

3.1.8 Función de similitud y semejanza

La función de semejanza es una expresión analítica que sirve como medida numérica para determinar el grado de semejanza entre dos casos, de modo que integre los resultados comparando cada una de las características. En esta función está presente la importancia de cada característica, de modo que el mayor peso en cálculo del grado de similitud entre un patrón de búsqueda y un elemento de la base de casos corresponda a las características con mayor importancia. La mayor dificultad de cualquier función de semejanza consiste en establecer los pesos relativos de las características para que la función pueda ofrecer resultados satisfactorios. El modelo inferencial se construyó usando las definiciones del algoritmo del vecino más cercano y el de similitud local-continua.

3.1.8.1 Algoritmo del vecino más cercano: Para este proyecto se llevó a cabo la implementación del algoritmo del vecino más cercano como un modelo estadístico para el desarrollo del modelo CBR, teniendo en cuenta que este algoritmo es el más usado para estos sistemas.

El algoritmo del vecino más cercano se puede ver resumido en (1) y tiene como nombre:

Similitud global o coeficiente de Gower basada en una estructura KNN (The k-nearest neighbour):

$$\frac{\sum_{i=1}^n w_i \times \text{sim}(f_i, f_i^R)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Donde w_i es el nivel de importancia de una característica i representada como un valor numérico comprendido entre 0 y 1. Los vecinos más cercanos tienden a tener valores más cercanos a 1, mientras que los más distantes tienen valores más cercanos a 0, f_i y f_i^R son los valores para

las características i en los casos de entrada y que se recuperaron respectivamente, sim es la función que representa el nivel de similitud para las primitivas. Esta función de similitud hace que el algoritmo de los vecinos más cercanos sea diferente de una simple fórmula matemática, como es la generalización del valor medio aritmético.

Para este algoritmo se asumen algunas propiedades como son:

1. $0 \leq \text{sim}(x, y) \leq 1$
2. $\text{sim}(x, x) = 1$
3. $\text{sim}(x, y) = \text{sim}(y, x)$ (simetría)

Tanto x como y representan los casos o situaciones a comparar

Similitud local-Continua

La similitud local-continua es la función de similitud individual respecto a la mencionada anteriormente la cual representa el valor de similitud global. Esta se encuentra definida en la siguiente función:

$$\delta(u, v) = 1 - \frac{|u, v|}{\text{Máx}(v) - \text{Min}(v)} \quad (2)$$

donde $|u, v|$ = Distancia entre el valor en el nuevo problema (u) y el valor en el caso (v) recuperando de la base de casos para un mismo rasgo.

$\text{Máx}(v)$ = Máximo valor del rango en la Base de conocimientos.

$\text{Min}(v)$ = Mínimo valor del rango en la Base de conocimientos.

3.1.9. Casos similitud.

A continuación, se procederá a verificar que los niveles de iluminancia de los casos sobre los cuales se construyó la base de datos cumplan con los requerimientos que exige el RETILAP.

Para llevar a cabo esto se elaboraron unas tablas que contienen 4 tipos de información:

Tabla 10:*Conceptos para la verificación de los niveles de iluminancia.*

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
Similitud	Este dato surge de realizar el cálculo del valor de similitud entre el nivel de iluminancia media establecido en el RETILAP y los diversos valores que presentan cada caso para un lugar en específico.	
Iluminancia mínima	Es el valor de iluminancia mínima que presente cada caso de la base de datos.	La iluminancia mínima del caso no puede ser inferior a la establecida en el RETILAP, así como la máxima no puede ser superior.
Iluminancia máxima	Es el valor de iluminancia máxima que presente cada caso de la base de datos.	
Porcentaje de efectividad	Indica que tan acorde son los valores de iluminancia del	Valor de parámetro valido: Para que un valor pueda ser considera válido es necesario

caso según los estándares del RETILAP. que cumpla con la siguiente condición:

Un valor de similitud valido se debe encontrar sobre el rango de 0.5 a 1

Si los valores no cumplen con la condición nombrada anteriormente se considerará que el valor no es válido.

Para cada uno de los diseños considerados se extrajeron los diferentes casos expresados en las características presentadas en la tabla anterior. En resumen, se tienen los 4 casos de la sala de sistemas, 6 del aula estudiantil, 6 de los baños, 4 de los pasillos, 3 de los laboratorios, 5 de las oficinas y 3 de los consultorios, estos pueden ser detallados desde la tabla 11 hasta la tabla 17.

Sala de sistemas. Valores para una sala de sistemas según el RETILAP:

- Media:500 lx, Mínima:300 lx, Maxima:750 lx

Tabla 11.

Similitud sala de sistemas

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
0.6984127	365	601	100 %
1	280	736	66.66 %
0.01587302	335	733	66.66%

0	288	708	33.33%
---	-----	-----	--------

	Valor valido
	Valor no valido

Aula estudiantil. Valores para un aula estudiantil según el RETILAP:

- Media:500 lx, Mínima:300 lx, Maxima:750 lx

Tabla 12.

Similitud aula estudiantil

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
0.6153846	424	604	100 %
0.8846154	351	586	100 %
0	446	652	66.66 %
0.8589744	393	582	100 %
0.8205128	391	588	100 %
1	389	587	100 %

	Valor valido
	Valor no valido

Baño. Valores para un baño según el RETILAP:

- Media:150 lx, Mínima:100 lx, Maxima:200 lx

Tabla 13.*Similitud baño*

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
0.5882353	103	200	100 %
0.9411765	134	168	100 %
0.6176471	133	200	100 %
0	90	262	0 %
0.5	114	203	66.66 %
0.2647059	152	187	66.66 %



Valor valido



Valor no valido

Pasillo. Valores para un pasillo según el RETILAP:

- Media:150 lx, Mínima:100 lx, Máxima:200 lx

Tabla 14.*Similitud pasillo*

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
0	174	218	33.33 %
0.8139535	91	142	66.66 %
0.8953488	57	135.7	66.66 %

0.5930233	82	195	66.66 %
-----------	----	-----	---------

	Valor valido
	Valor no valido

Laboratorio. Valores para un laboratorio estudiantil según el RETILAP:

- Media:500 lx, Mínima:300 lx, Máxima:750 lx

Tabla 15.

Similitud laboratorio

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
0.6111111	316	941	66.66 %
0.3888889	339	732	66.66 %
0.8333333	302	658	100 %

	Valor valido
	Valor no valido

Oficina. Valores para una oficina según el RETILAP:

- Media:500 lx, Mínima:300 lx, Máxima:750 lx

Tabla 16.

Similitud oficina

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
-----------	-----------------------	-----------------------	------------------------------

0	436	613	66.66 %
0.9473684	410	558	100 %
0.8421053	317	557	100 %
0.7894737	306	429	100 %
1	415	556	100 %

	Valor valido
	Valor no valido

Consultorio. Valores para un consultorio según el RETILAP:

- Media:500 lx, Mínima:300 lx, Máxima:750 lx

Tabla 17.

Similitud consultorio

Similitud	Iluminancia mínima	Iluminancia máxima	Porcentaje de efectividad
1	428	545	100 %
1	368	590	100 %
0	427	557	66.66 %

	Valor valido
	Valor no valido

Se calculó el promedio aritmético del porcentaje de efectividad de todos los casos relacionados con el objetivo de validar cada uno de los lugares considerados en contraste con los valores presentados en el RETILAP. Esta información se muestra en la tabla (18).

Tabla 18.

Validez de diseños de la base de casos

Lugar	Promedio de validez los casos
Sala de sistemas	74.99 %
Aula estudiantil	94.44 %
Baño	72.22 %
Pasillo	58.32 %
Laboratorio	77.77 %
Oficina	93.33 %
Consultorio	88.88 %
Resultado general	79.99 %

En la tabla se puede observar el porcentaje de validez que tienen los niveles de iluminancia de cada tipo de lugar con respecto a lo que establece el reglamento técnico (RETILAP).

Se procederá a elaborar un modelo de razonamiento basado en casos, el cual se implementará usando el software de cálculo MATLAB.

3.1.10 Matlab

MATLAB es una plataforma enfocada en el uso de la programación y en el desarrollo de cálculos numéricos muy utilizada por ingenieros y científicos para el análisis, diseño y simulación de algoritmos o modelos. Para este proyecto se llevará a cabo el desarrollo del algoritmo CBR en este software.

3.1.11 Algoritmo CBR

El algoritmo tendrá como objetivo funcionar como un recomendador dándole al usuario opciones sobre diseños de iluminación más convenientes en base a sus necesidades, por ende, es necesario plantear como primer punto las variables de entrada y salida.

- Variables de entrada:

Son un conjunto de características que el algoritmo le solicita al usuario para así este poder determinar el grado de similitud que tienen dichos valores con los establecidos en la base de conocimientos y de este modo cuantificar un valor que le permita recomendar algún caso.

- Variables de salida:

Son las características luminotécnicas de un diseño de iluminación que el algoritmo le recomienda al usuario en base a los datos que este le suministró.

Tabla 19.

Variables de entradas y salidas para el algoritmo

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
Tipo de lugar	Tipo de luminaria
Forma de lugar	Cantidad de luminarias
Ancho del lugar	Rendimiento lumínico
Largo del lugar	Flujo luminoso
Área	Potencia de la luminaria
Nivel de iluminancia media	Factor de manteamiento
Nivel de iluminancia mínima	
Nivel de iluminancia máxima	
Uniformidad	

Altura del local
Altura del montaje

3.2 Fase de reutilización

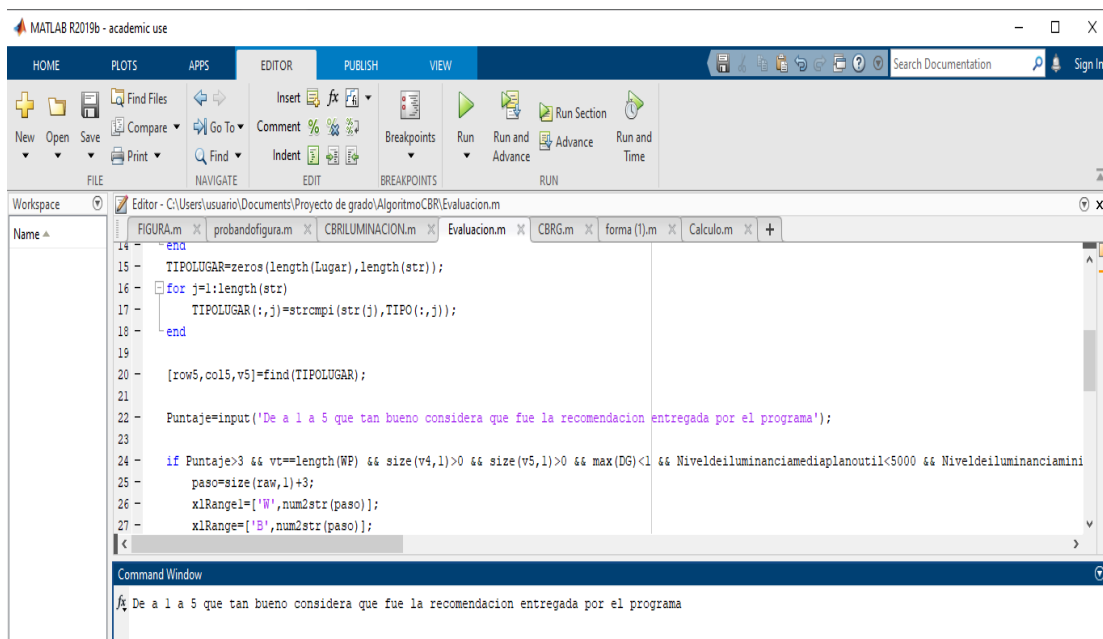
Para esta fase se busca realizar una comparación entre los datos suministrados por el usuario y los que se encuentran en la base de conocimientos realizada en Excel, dicha comparación se realizara partiendo de las fórmulas (1) y (2) que se mencionan en el numeral 3.1.8. Una vez realizado este procedimiento se procede a determinar el caso o los casos con mayor similitud con respecto o lo suministrado por el usuario. Se espera que los niveles de similitud estén por encima de un rango de 0.5, ya que es un valor aceptable porque me indica que un 50% de los datos suministrados son similares a los disponibles en la base de casos. En caso de que no haya ningún valor por encima de este rango el programa procede a enviar un mensaje en el cual informa que no está capacitado para dar una recomendación adecuada con los datos que suministro el usuario.

Si se llega a presentar la situación en la que haya más de un caso con la mayor similitud procedemos a establecer los siguientes criterios:

- El programa deberá escoger el caso cuya área sea la más parecida a la que suministro el usuario.
- Si el criterio anterior no se llega a cumplir el programa procede a seleccionar el caso con los niveles de iluminación más parecidos o similares a los suministrados por el usuario.

3.3 Fase revisión

En esta fase se pretende que el usuario de una opinión sobre la recomendación que le entrego el programa, para esto se desarrollara un pequeño algoritmo que le pida al usuario que de una valoración de 1 a 5 al caso arrojado por el recomendador.

Figura 37.*Valoración usuario*

3.4 Fase de almacenamiento

La fase de almacenamiento consiste en poder registrar un nuevo caso a la base de datos (o casos) que tenga tanto los valores que el usuario inserto en el algoritmo como los que este le recomendó (valores luminotécnicos), para que se lleve a cabo esta fase es necesario que cumplan las siguientes condiciones:

- Los niveles de iluminancia suministrados por el usuario no pueden exceder el valor de 100000 lx ya que precisamente es el valor de iluminancia más alto que se encuentra establecido en el RETILAP.
- El usuario debe suministrar todos los valores que le solicita el algoritmo.
- Para que se puedan almacenar los datos suministrados por el usuario es necesario que en las características tipo de lugar y forma del lugar se empleen nombres que tengan al menos alguno de los terminos mostrados en las siguientes tablas, esto debido a que se diseño el

algoritmo para que aceptara dichos nombres los cuales estan guardados en dos vectores establecidos en el programa.

Tabla 20.

Forma del lugares utilizados en el algoritmo

Forma del lugar
Rectangular
Circular
Cuadrada
Conica
Trapezoidal
Triangular
Rombo

Tabla 21.

Tipos de lugares utilizados en el algoritmo

Tipo de lugar
Oficina
Salón
Patio
Dispensario
Despacho
Consultorio
Habitación
Pieza
Salón comunal
Cocina
Baño
Cuarto
Sala

Parqueadero
Bañera
Salon de clase
Sala de video
Aula estudiantil
Cancha deportiva
Escaleras
Pasillo
Corredor
Pasadizo
Sotano
Ascensor
Subteraneo
Elevador
Azotea
Terraza
Alcoba
Dormitorio
Recamara
Aposento
Gabinete
Campo deprotivo
Cancha de futbol
Estadio
Escalera
Aula

Se determino que el usuario tuviera la posibilidad de evaluar la calidad de la recomendación de modo que se tiene en el algoritmo la opcion puntaje la cual muestra el siguiente mensaje: De 1

a 5 que tan bueno considera que fue la recomendación entregada por el programa. Si el usuario entrega un valor igual o inferior a 3 se infiere que la recomendación no fue buena y no se lleva a cabo el almacenamiento.

El almacenamiento de los casos queda registrado en una memoria de Excel como se muestra en la figura (38).

Figura 38.

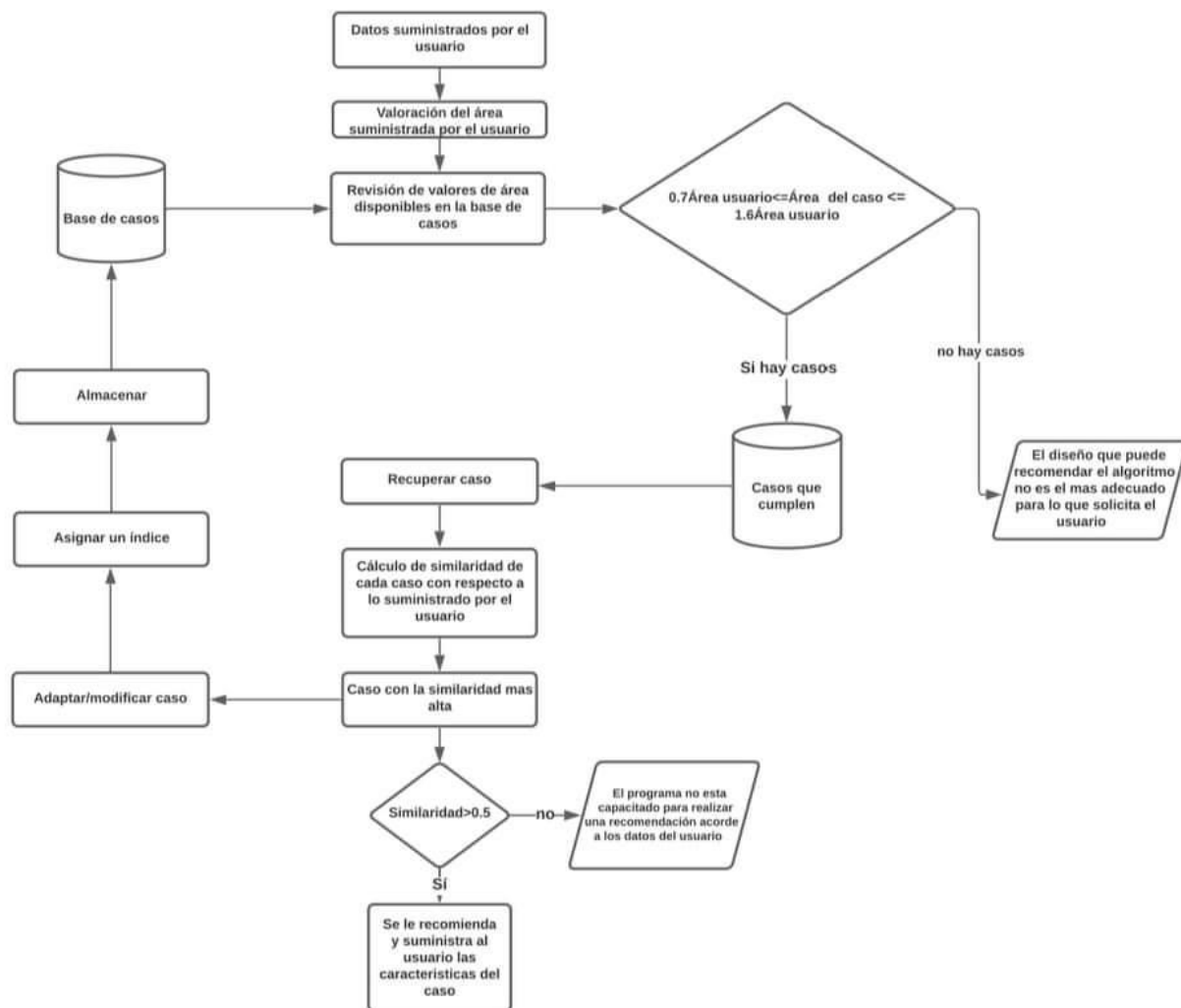
Base de casos

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Tipo de lugar	Forma del lugar en m	Ancho del lugar en m	Largo del lugar en m	Area en m2	Nivel de iluminancia media plano util	Nivel de iluminancia minima plano util	Nivel de iluminancia maxima plano util	Uniformidad	Altura del local en m	Altura del montaje en m	Factor de degradación	Tipo de luminaria
3	Sala de sistemas	Rectangular	6	9.41	56.46	519	365	601	0.705	2.6	2.6	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 100-277V
4	Biblioteca	Rectangular	6	8.33	49.98	519	376	582	0.726	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL DL 100-277V
5	Aula estudiantil	Rectangular	6	9	54	530	424	604	0.801	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 40W DL 100-2
6	Aula estudiantil	Rectangular	6.05	9.09	55.01	509	351	586	0.69	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 40W DL 100-2
7	Aula estudiantil	Rectangular	6.05	9	54.45	578	446	652	0.771	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 40W DL 100-2
8	Aula estudiantil	Rectangular	6.05	9	54.45	511	393	582	0.77	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 40W DL 100-2
9	Aula estudiantil	Rectangular	5.93	8.95	53	514	391	588	0.76	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 40W DL 100-2
10	Aula estudiantil	Rectangular	6.08	7.8	47.42	500	389	587	0.778	3.45	3.45	0.8	SYLVANIA P27916-LED PANEL RC 40W DL 100-2
11	Baño	Rectangular	1.67	2.2	3.67	164	103	200	0.627	4.3	4.3	0.8	SYLVANIA LED HERMÉTICA P37437

La figura muestra la base de casos desarrollada en Excel para el proyecto.

4. Casos de estudio con la metodología

A continuación, se muestra un diagrama de flujo que representa el proceso que realiza el algoritmo para entregar una recomendación partiendo de la metodología de razonamiento basada en casos.

Figura 39.*Diagrama de flujo CBR*

La figura muestra el funcionamiento del algoritmo de recomendación que tiene como base la metodología de razonamiento basada en casos.

Se procede a analizar casos de estudio en donde se aplique la metodología mediante el modelo estadístico inferencial. Los casos para utilizar son diseños realizados por estudiantes que cursaron la asignatura de instalaciones eléctricas e ingenieros que trabajan en el área de iluminación.

4.1 Caso 1

Se tiene una consulta donde un usuario en este caso un estudiante de ingeniería eléctrica ingresa los siguientes datos

- Tipo de lugar: Salón comunal
- Forma de lugar: Rectangular
- Área: 187.08 m²
- Nivel de luminancia media: 200
- Nivel de luminancia máxima: 300
- Nivel de luminancia mínima: 150
- Uniformidad: 0.75
- Altura del local: 2.8 m
- Altura del montaje: 2.8 m

Los resultados que el algoritmo arroja son los siguientes:

Figura 40.

Recomendación del algoritmo para el caso 1



```

>> BaseRecomienda

BaseRecomienda =

2x15 string array

Columns 1 through 3

    "Tipodeluminaria"    "PotenciaenW"    "Cantidaddeluminar..."
    "SYLVANIA P27930 L..."    "40"    "14"

Columns 4 through 6

    "Rendimientoluminico"    "Flujoluminoso"    "Factor de degrada..."
    "83.7"    "3431"    "0.8"

Columns 7 through 10

    "Tipodelugar"    "Formadelugar"    "Area"    "Niveldeiluminanci..."
    "Salon comunal"    "Rectangular"    "144.69"    "226"

Columns 11 through 13

    "Niveldeiluminanci..."    "Niveldeiluminanci..."    "Uniformidad"
    "81.8"    "347"    "0.36"
  
```

La figura muestra la recomendación que arroja el algoritmo al usuario para el caso 1.

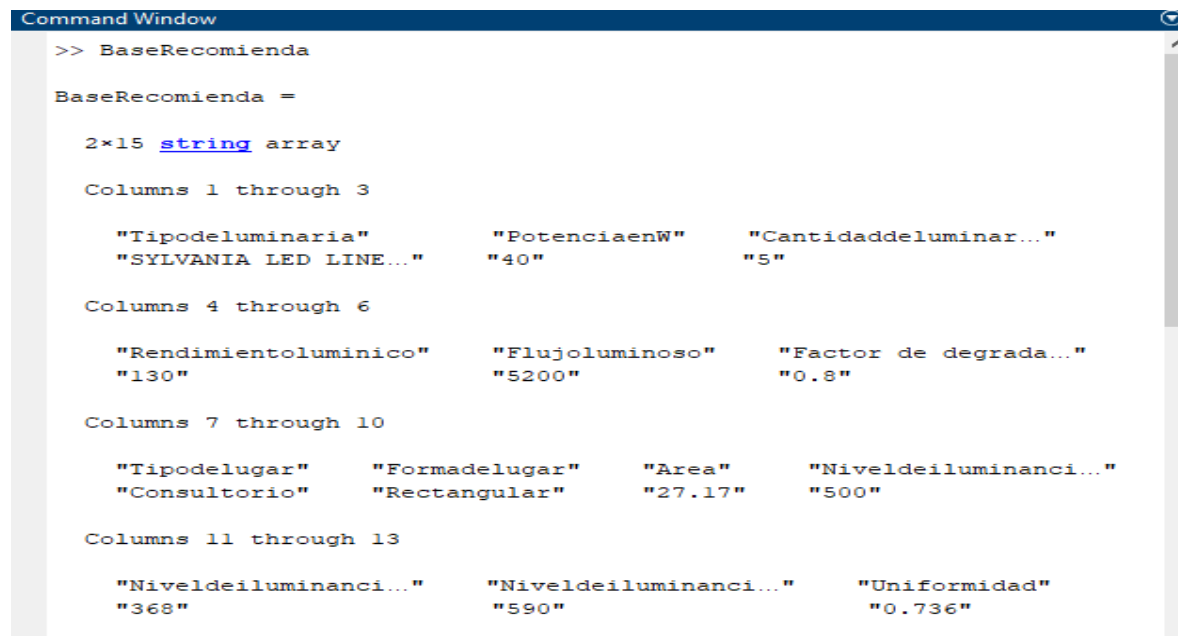
4.2 Caso 2

Se tiene una consulta donde un usuario en este caso un ingeniero electricista ingresa los siguientes datos:

- Tipo de lugar: Consultorio
- Forma de lugar: Rectangular
- Área: 37.4 m²
- Nivel de luminancia media: 500
- Nivel de luminancia máxima: 750
- Nivel de luminancia mínima: 300
- Uniformidad: 0.6
- Altura del local: 4.3 m
- Altura del montaje: 4.3 m

Figura 41.

Recomendación del algoritmo para el caso 2



```
>> BaseRecomienda

BaseRecomienda =

2x15 string array

Columns 1 through 3

    "Tipodeluminaria"    "PotenciaenW"    "Cantidaddeluminar..."
    "SYLVANIA LED LINE..."    "40"    "5"

Columns 4 through 6

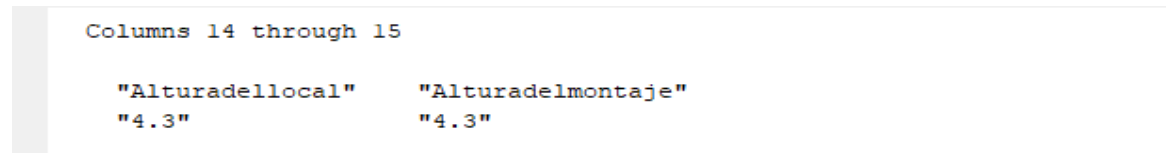
    "Rendimientoluminico"    "Flujoluminoso"    "Factor de degrada..."
    "130"    "5200"    "0.8"

Columns 7 through 10

    "Tipodelugar"    "Formadelugar"    "Area"    "Niveldeiluminanci..."
    "Consultorio"    "Rectangular"    "27.17"    "500"

Columns 11 through 13

    "Niveldeiluminanci..."    "Niveldeiluminanci..."    "Uniformidad"
    "368"    "590"    "0.736"
```



Columns 14 through 15	
"Alturadellocal"	"Alturadelmontaje"
"4.3"	"4.3"

La figura muestra la recomendación que arroja el algoritmo al usuario para el caso 2.

4.3 Caso 3

Se tiene una consulta donde un usuario en este caso un ingeniero electricista ingresa los siguientes datos:

- Tipo de lugar: Aula estudiantil
- Forma de lugar: Rectangular
- Ancho: 8.60 m
- Largo: 7.45 m
- Área: 61.60 m²
- Nivel de luminancia media: 500
- Nivel de luminancia máxima: 750
- Nivel de luminancia mínima: 300
- Uniformidad: 0.6
- Altura del local: 3 m
- Altura del montaje: 3 m

Figura 42.

Recomendación del algoritmo para el caso 3



La figura muestra la recomendación que arrojo el algoritmo al usuario para el caso 3.

A continuación, en la tabla (22) se muestra el nivel de similitud de 10 casos que se utilizaron para probar la efectividad del modelo. En esta tabla se muestra todos los tipos de datos y la similitud individual que surge de compararlos con los suministrados por cada usuario presente en los diferentes casos que se estudiaron, al igual que en la última columna se establece la similitud global con respecto a cada caso. Para determinar estos cálculos el algoritmo toma un conjunto de casos que se ajusten a la siguiente condición: $0.7 * (\text{Área de los casos}) \leq \text{Área suministrada por el usuario} \leq 1.6 * (\text{Área de los casos})$.

4.4 Validación del modelo

Tabla 22.

Similitud casos de prueba

C	TL	FL	AL	LL	A	NIM	NIMI	NIMA	U	ALO	AM	ST
1	1	1	0	0	0.8359	0.9633	0.8786	0.9474	0.5608	0.7642	0.7642	0.7148
2	1	1	0	0	0.6801	1	0.8653	0.8013	0.7253	1	1	0.7438
3	0	1	0.7101	0.9462	0.7833	0.8831	0.9589	0.7628	0.7344	1	1	0.7807
4	1	1	0	0	0.7747	0.9274	0.8889	0.8394	0.784	0.2778	0.2778	0.6426
5	0	1	0	0	0.6811	0.9499	0.9949	0.8858	0.9402	1	1	0.6771
6	1	1	1	0	0.7473	0.8145	0.8609	1	0.8933	0.8397	0.8397	0.7414
7	0	1	0	0	0.1520	0.5881	0.9933	0,0054	0.7423	0.2857	0.6250	0.4007
8	1	1	0	0	0.5271	0.9772	0.9822	0.4169	0.8656	0.4643	0.4643	0.632
9	1	1	0	0	0.9969	0.9760	0.9751	0.9966	0.9854	1	1	0.8250
10	1	1	0	0	0.8120	0.9812	0.9820	0.9822	0.9522	0.6500	0.6245	0.7488

En la tabla se observan los niveles de similitud global e individual para los 10 casos que se utilizaron en el proyecto.

C: Caso

A: Área

ALO: Altura del local

TL: Tipo del lugar

NIM: Nivel de iluminancia media

AM: Altura del montaje

FL: Forma del lugar

NIMI: Nivel de iluminancia mínima

ST: Similitud total

AL: Ancho del lugar

NIMA: Nivel de iluminancia máxima

LL: Largo del lugar

U: Uniformidad

Tabla 23.

Comparación área de los casos de prueba

Caso	Área suministrada	Área recomendada	Tipo de lugar
1	187.08	144.69	Salón comunal
2	37.4	27.17	Consultorio
3	61.60	55.01	Aula estudiantil
4	26.50	21.9	Cocina
5	64.02	55.01	Centro de recursos
6	21.56	23.94	Baño
7	7.56	10.74	Oficina
8	19.98	24.564	Oficina
9	3.91	3.1	Baño
10	54.31	49.97	Pasillo

La tabla muestra las áreas que suministro el usuario y las que recomendó el algoritmo para cada caso.

4.4.1 Promedio de similitud de los 10 casos

Promedio

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.7148 + 0.7438 + 0.7807 + 0.6426 + 0.6771 + 0.7414 + 0.4007 + 0.632 + 0.8250 + 0.7488}{10} \\
 &= 0.69069
 \end{aligned}$$

4.5 Análisis

- Con base al resultado del promedio y de la tabla (22) se puede determinar que las similitudes de los casos dieron favorables en su mayoría, ya que un valor de 0.69069 es considerado un nivel de similitud alto, lo que indica que el algoritmo y la base de casos son eficientes recomendando características de diseños que se asemejen a los datos que entrega el usuario.
- En el caso número 3 existió una de las similitudes más altas con un valor por encima de 0.75, esto se presentó porque en los otros casos no se suministraron los datos de ancho y largo del lugar, por ende, el algoritmo asume una similitud de valor cero en estas características y esto contribuye a que dichos casos no puedan tener un nivel de similitud más alto.
- En el caso 7 se presentó una similitud global muy baja, cuyo valor es de aproximadamente 0.4, esto se debe a que en dicho escenario la cantidad de casos que utilizó el recomendador fueron muy pocos en comparación con los otros escenarios que se analizaron, por el hecho de que el algoritmo solo analiza casos cuyas áreas cumplan con la siguiente condición: $0.7 \text{ área usuario} \leq \text{área del caso} \leq 1.6 \text{ área usuario}$, dicha condición se menciona en el diagrama flujo.
- Con base a la tabla (18), se puede decir que los niveles de iluminancia de los diferentes casos almacenados en la base de conocimiento cumplen con los establecido en el reglamento técnico RETILAP, ya que existe un margen de efectividad de más del 50% en todos los casos, en comparación con los valores de iluminancia del reglamento mencionado.

5. Conclusiones

Con respecto al trabajo efectuado por el algoritmo se puede establecer que los datos de niveles de iluminancia que conforman la base de conocimientos son válidos, debido a que los promedios de validez están por encima del 50%, además, el promedio general esta sobre el 80%, esto quiere decir que la gran mayoría de datos poseen un nivel de validez adecuado comparándolos con los datos de iluminancia que establece el RETILAP para diferentes ambientes.

A partir de los análisis obtenidos, el aula estudiantil es el tipo de lugar que presenta mejores márgenes de precisión en lo que respecta a niveles de iluminancia, ya que su promedio de validez fue de un 94.44 %, lo que es una clara muestra de lo bien estructurados que se encuentran los diseños luminotécnicos de aulas estudiantiles usados para la creación de la base de casos , además algo que ayuda a dicha precisión en el nivel de iluminancia es el hecho de que estos lugares tienen unas áreas estándar y por ende resulta más sencillo cuadrar los diversos elementos como son las luminarias para así generar la iluminancia esperada para dicho lugar.

Según los cálculos realizados en el desarrollo del proyecto se puede decir que es necesario que el algoritmo genere subconjuntos de casos dependiendo de la cantidad de área que suministre el usuario, ya que si existe una gran diferencia entre el valor más grande de área y el más pequeño de la base de conocimientos la formula Similitud local-Continua no calculara el valor adecuado y terminara mostrando valores muy cercanos a 1 aun cuando las diferencias entre el área del usuario y la que recomienda el algoritmo sean notables.

En última instancia se puede notar que el 70 % de los valores de área recomendados por el algoritmo son más pequeños que los que el usuario suministro para cada caso. Esto quiere decir

que a pesar de que las diferencias entre áreas son pequeñas, los diseños que recomienda el algoritmo no son 100 % confiables. Para lograr una mayor confiabilidad es necesario añadir más casos a la base de conocimientos. los cuales posean diversas características de modo que el algoritmo disponga de un mayor conocimiento y así se pueda generar una recomendación más confiable.

6. Trabajos futuros

- Realizar una interfaz gráfica, que facilite el manejo del programa a usuarios que no están familiarizados con el uso de la herramienta MATLAB.
- Mejorar la robustez de la base casos mediante nueva información recolectada consultando ingenieros distintos a los que anteriormente nos proporcionaron diseños.
- Mejorar en la fase de reutilización los criterios de selección del caso que se recomienda.
- En la fase de retención elaborar un algoritmo que sirva para la reducción de casos repetidos.
- Realizar un algoritmo para eliminar la redundancia de todos los casos almacenados en la base de casos.

Referencias bibliográficas

- Aránzazu, M. (Enero de 2002). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-411-Diagrama-de-flujo-de-CBR-126_fig14_49363377
- Blanca Giménez, V., Castilla Cabanes, N., Martínez Antón, A., & Pastor Villa, R. (s.f.). *LUMINOTECNIA*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>
- Blasco Espinosa, P. Á. (s.f.). *Apuntes Iluminación*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75442/ILUMINACION__GIE-3__2en1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castilla Cabanes, N. (2015). *Iluminación artificial en los espacios docentes*. Valencia España.
- Finnie, G., & Sun, Z. (Marzo de 2002). *RESEARCHGATE*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/27827429_Similarity_and_metrics_in_case-based_reasoning?enrichId=rgreq-5b7d3a38ec3072160739603a97424ebb-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3ODI3NDI5ODQ3Nzc2ODcwNUAxNTIxMzI1ODExNDg0&el=1_x_2&esc=publicatio
- Gutiérrez Menéndez, A. (Junio de 2012). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1461-Lampara-de-sodio-de-alta-presion_fig7_281559266

- Lezcano Brito, M., Lezcano Brito, M., & Rios Rodriguez, L. (2016). Sistema experto para la identificación de plasticos. 9.
- López, B. (2013). *Case-Based Reasoning*. Morgan & Claypool.
- Medioambientum*. (15 de Febrero de 2014). Obtenido de <http://medioambientum.com/tubos-fluorescentes-un-cancer-para-el-medioambiente/>
- Mulyana, S., Hartati, S., Wardoyo, R., & Winarko, E. (2015). Case-Based Reasoning for Selecting Study Program in Senior High School. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 6, No. 4.
- Norma española. UNE-EN 12464-1. (2003). Iluminación de los lugares de trabajo.
- Ollarves, G. (14 de Febrero de 2017). Obtenido de <https://www.bricolemar.com/blog/razones-para-elegir-bombillas-led/>
- Ortiz Chow, Y. K., Bañuelos Aguilar, P., & Osollo Rodas, J. (2016). RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS (RBC).
- Ortiz Chow, Y. K., Rodas Osollo, J., & Ochoa Zezzatti, A. (2017). *Razonamiento Basado en Casos (RBC)*.
- Reglamento Técnico de iluminación y alumbrado público. (2017). Diseños y cálculos de iluminación interior . Obtenido de Diseños y calculos de iluminación interior
- Vergara Gamarra, C. E., & Perrilla Mrtinez , V. H. (2019). *Modernización del sistema de iluminación en conjuntos residenciales en Bogotá Colombia* . Bogotá.

Apéndices

Los algoritmos de MATLAB y la memoria de EXCEL utilizados para desarrollar este trabajo de grado se pueden encontrar en las siguiente URL:

https://drive.google.com/drive/folders/1SFNfDfThSP0c_yyE8QNdGPQ0CDsCEG2x?usp=sharing

El archivo “CBRILUMINACION” contiene el algoritmo principal que lleva a cabo la recomendación partiendo de la metodología de razonamiento basada en casos. En este código el usuario puede identificar algunos comandos a ejecutar en el programa que le serán de guía para comprender la estructura general del algoritmo, los comandos son:

- **Recomienda:** Se encarga de mostrar las características luminotécnicas del diseño que se quiere recomendar al usuario.
- **BaseRecomienda:** En este comando el usuario puede ver las características generales que posee el caso que se le recomendó.
- **SimilarityCriteria:** Permite ver la cantidad de casos que uso el algoritmo y su nivel de similitud con respecto a los datos que el usuario suministro.

El archivo “Evaluación” es un código auxiliar que funciona como apoyo para el algoritmo principal. En este programa se pretende que el usuario de una calificación al diseño que el algoritmo principal recomendó.

En el archivo “Calculo” se realizaron las operaciones necesarias para el análisis de los niveles de iluminación de los casos con respecto a los que establece el reglamento técnico RETILAP.

El archivo “Characteristicass” contiene los diferentes casos y sus características luminotécnicas que fueron extraídos de los diseños suministrados.