



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **DISEÑO DE ILUMINACIÓN DE UN CONTACT CENTER, BUSCANDO ENTORNOS DE TRABAJO SALUDABLES**

**Daniel José Palacio Muñoz**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Bogotá, Colombia  
2023



# **DISEÑO DE ILUMINACIÓN DE UN CONTACT CENTER, BUSCANDO ENTORNOS DE TRABAJO SALUDABLES**

**Daniel José Palacio Muñoz**

Trabajo final de Especialización presentada(o) como requisito parcial para optar al título  
de:

**Especialista en Iluminación Pública y privada**

Director (a):

Ph.D. Jesús María Quintero Quintero

Asesor (a):

M.sc. Fabian Yair Palacios Suárez

Línea de Investigación:

Iluminación

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá, Colombia

2023



*A mi familia que siempre ha estado apoyándome en mi formación; a mi novia Laura por darme su apoyo incondicional en las decisiones que tomo.*

*A todos los profesores que han hecho parte de mi formación y han brindado su conocimiento desinteresadamente, inspirando y motivando a continuar en este camino.*



## Declaración de obra original

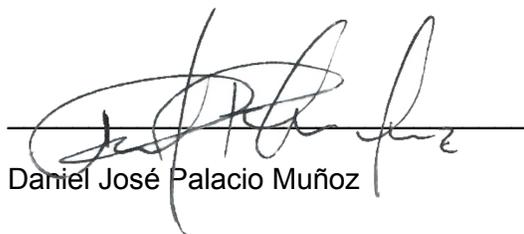
Yo DANIEL JOSÉ PALACIO MUÑOZ declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Daniel José Palacio Muñoz

Fecha 01/06/2023

## Firma de aval del Director

Nombre Director: Jesús María Quintero Quintero

Firma

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Jesús María Quintero Quintero', written over a horizontal line.

Fecha: Julio 11 de 2023

## Resumen

El presente proyecto busca realizar la comparación entre un diseño de iluminación convencional y un diseño de iluminación integrador para un contact center. Para esto, se busca identificar la percepción que tienen las personas que trabajan o han trabajado en estos espacios, realizando una encuesta con el ánimo de establecer las condiciones típicas que se pueden encontrar, y proponer un diseño de iluminación integrador, que trate de ser más saludable para las personas que allí laboran.

Se identificarán algunos factores que pueden llegar a afectar la visión de las personas, y se establecen las pautas para un diseño de iluminación que de un buen estímulo al sistema circadiano siguiendo las recomendaciones establecidas en la norma UL 24480. Adicionalmente, se realizará la comparación económica entre ambas propuestas.

**Palabras clave:** Iluminación integradora, lugares de trabajo, salud visual, estímulo circadiano.

# Abstract

## LIGHTING DESIGN OF A CONTACT CENTER, LOOKING FOR HEALTHY WORK ENVIRONMENTS

This project seeks to make a comparison between a conventional lighting design and an integrative lighting design for a contact center. For this, it seeks to identify the perception that people who work or have worked in these spaces have, surveying with the aim of establishing the typical conditions that can be found and proposing an integrating lighting design that tries to be healthier for the people who work there.

Some factors that can affect people's vision will be identified, and the guidelines for a lighting design that gives a good stimulus to the circadian system are established following the recommendations established in the UL 24480 standard.

Additionally, the economic comparison between both proposals will be made.

**Keywords:** Human-centric lighting, contact center, workplaces, visual health, circadian stimulus.





# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo General .....	3
1.2 Objetivos Especificos .....	3
<b>2. Bases teóricas.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sistema de visión del ser humano .....	5
2.2 Factores que afectan la visión.....	7
2.2.1 Deslumbramiento.....	7
2.2.2 Efecto Flicker .....	7
2.2.3 Desgaste del cristalino.....	8
2.3 Human Centric Lighting (HCL).....	8
2.3.1 Luz circadiana .....	8
2.3.2 Estímulo circadiano .....	9
2.4 Requisitos normativos .....	9
2.4.1 Iluminación de las estaciones de trabajo con pantallas VDT.....	10
2.4.2 Niveles de iluminancia requeridos .....	11
2.4.3 Requisitos para la Iluminación circadiana .....	12
2.4.4 Iluminación de emergencia .....	13
<b>3. Diseño de Iluminación .....</b>	<b>15</b>
3.1 Descripción del área a iluminar .....	15
3.2 Encuesta de percepción y estado actual de los contact center.....	17
3.3 Selección de luminarias.....	21
3.3.1 Luminarias para diseño de iluminación convencional.....	21
3.3.2 Luminarias para diseño con iluminación integradora .....	24
3.3.3 Luminarias para iluminación de emergencia .....	32
3.4 Factor de mantenimiento.....	35
3.4.1 Depreciación del flujo luminoso .....	36
3.4.2 Factor de ensuciamiento de la superficie .....	38
3.4.3 Factor de ensuciamiento de la luminaria.....	38
3.4.4 Factor de supervivencia.....	39
3.4.5 Cálculo del factor de mantenimiento .....	39

3.5	Propuesta de iluminación convencional .....	39
3.6	Propuesta de iluminación integradora .....	46
3.6.1	Oficina Abierta.....	46
3.6.2	Sala de capacitación .....	50
3.6.3	Cafeterías.....	53
3.7	Iluminación de emergencia .....	56
3.8	Sistema de control .....	59
3.8.1	Iluminación convencional .....	59
3.8.2	Iluminación integradora .....	59
<b>4.</b>	<b>Análisis económico .....</b>	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>71</b>
5.1	Conclusiones .....	71
5.2	Recomendaciones .....	73
<b>6.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>77</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Encuesta sobre vivencias y percepciones en los contact center .....</b>	<b>77</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Resultados luminotécnicos del diseño de iluminación convencional del contact center, usando Dialux Evo.....</b>	<b>94</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Resultados luminotécnicos del diseño de iluminación integrador del contact center, usando Dialux Evo.....</b>	<b>94</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Resultados luminotécnicos del diseño de iluminación de emergencia propuesto, usando Dialux Evo.....</b>	<b>95</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 2-1:</b> Estructura básica del ojo .....	6
<b>Figura 2-2:</b> Curvas de Sensibilidad Espectral de las Células Visuales.....	6
<b>Figura 3-1:</b> Arquitectura seleccionada para el contact center. En azul se encuentra la oficina abierta; en verde las cafeterías 1 y 2; en naranja el salón de entrenamiento .....	16
<b>Figura 3-2:</b> Sub-áreas en la oficina abierta .....	17
<b>Figura 3-3:</b> Rango de edades de las personas encuestadas .....	20
<b>Figura 3-4:</b> Diagrama polar de la luminaria VEL0233.....	23
<b>Figura 3-5:</b> Distribución espectral de la luminaria VEL0233.....	24
<b>Figura 3-6:</b> Propuestas preliminares para la iluminación de las áreas del contact center. .....	24
<b>Figura 3-7:</b> Luminaria Covera para la sala de capacitación .....	25
<b>Figura 3-8:</b> Diagrama polar de la luminaria Covera .....	26
<b>Figura 3-9:</b> Luminaria Cooper Lighting NEO RAY Define 2.....	28
<b>Figura 3-10:</b> Diagrama polar de la luminaria NEO RAY Define 2.....	28
<b>Figura 3-11:</b> Distribución de potencia espectral de las diferentes temperaturas de color de la luminaria con blanco dinámico.....	29
<b>Figura 3-12:</b> Propuesta conceptual de la iluminación en cafetería .....	30
<b>Figura 3-13:</b> Luminaria tipo Globo marca Fagerhult.....	31
<b>Figura 3-14:</b> Diagrama polar de la luminaria Globia D300 .....	31
<b>Figura 3-15:</b> Luminaria Zemper LSP3522LDPW.....	33
<b>Figura 3-16:</b> Fotometría de la luminaria LSP3255LDPW .....	33
<b>Figura 3-17:</b> Luminaria Zemper LYE3120LDPW.....	34
<b>Figura 3-18:</b> Depreciación de flujo luminoso para luminaria del diseño convencional ...	37
<b>Figura 3-19:</b> Depreciación del flujo luminoso de las luminarias del diseño de iluminación integradora .....	37
<b>Figura 3-20:</b> Distribución de luminarias en propuesta de iluminación convencional .....	40
<b>Figura 3-21:</b> Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la oficina abierta .....	41
<b>Figura 3-22:</b> Vista en colores falsos del cálculo de iluminancias en la oficina abierta ...	41
<b>Figura 3-23:</b> Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la Sala de Capacitación .....	42
<b>Figura 3-24:</b> Vista en colores falsos del cálculo de iluminancia en la sala de capacitación .....	42
<b>Figura 3-25:</b> Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la cafetería 1 ..	43

<b>Figura 3-26:</b> Vista en colores falsos del cálculo de iluminancia en la cafetería 1 .....	43
<b>Figura 3-27:</b> Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la cafetería 2..	44
<b>Figura 3-28:</b> Vista en colores falsos del cálculo de iluminancia en la cafetería 2.....	44
<b>Figura 3-29</b> Distribución de luminarias en oficina abierta para propuesta de iluminación integradora.....	46
<b>Figura 3-30</b> Evaluación de iluminación integradora de la oficina abierta en Dialux Evo. A la izquierda, se tiene CCT de 6500 K y dimerización al 100%, al centro CCT de 4000 K y dimerización de 60% y a la derecha CCT de 3500K y dimerización del 40% .....	47
<b>Figura 3-31</b> Colores falsos mostrando la iluminancia del espacio para la evaluación de la oficina abierta.....	47
<b>Figura 3-32</b> Colores falsos mostrando la luminancia del espacio para la evaluación de la oficina abierta.....	47
<b>Figura 3-33:</b> Luz circadiana calculada para diferentes configuraciones de iluminancia vertical y CCT .....	49
<b>Figura 3-34:</b> Estímulo circadiano calculada para diferentes configuraciones de iluminancia vertical y CCT.....	49
<b>Figura 3-35</b> Disposición de luminarias en la sala de capacitación para la propuesta de iluminación alternativa.....	51
<b>Figura 3-36:</b> Render de la sala de capacitación, con la propuesta de iluminación integradora.....	51
<b>Figura 3-37:</b> Colores falsos de la iluminancia de la sala de capacitaciones, utilizando la propuesta de iluminación integradora. ....	52
<b>Figura 3-38:</b> Colores falsos de la luminancia de la sala de capacitaciones, utilizando la propuesta de iluminación integradora. ....	52
<b>Figura 3-39:</b> Distribución de luminarias para la propuesta de iluminación integradora en la cafetería .....	54
<b>Figura 3-40:</b> Evaluación de iluminación en la cafetería para la propuesta de iluminación integradora.....	55
<b>Figura 3-41:</b> Colores falsos de la iluminancia en la cafetería con la propuesta de iluminación integradora. ....	55
<b>Figura 3-42:</b> Colores falsos de la luminancia en la cafetería con la propuesta de iluminación integradora. ....	56
<b>Figura 3-43:</b> Rutas de Evacuación y zonas antipánico .....	57
<b>Figura 3-44:</b> Iluminación de emergencia en la oficina abierta.....	58
<b>Figura 3-45:</b> Colores falsos de iluminancia de la iluminación de emergencia en la sala de capacitación .....	58
<b>Figura 3-46:</b> Iluminación de emergencia en la cafetería .....	59
<b>Figura 4-1:</b> Flujo de caja para la propuesta de iluminación convencional .....	69
<b>Figura 4-2:</b> Flujo de caja del diseño de iluminación integradora .....	70

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 2-1:</b> Limite de luminancias para las luminarias en zonas de trabajo con pantallas VDT.....	10
<b>Tabla 2-2</b> Requisitos normativos para zonas de descanso según NTC6519-1.....	11
<b>Tabla 2-3:</b> Requisitos normativos para oficinas según NTC6519-1.....	11
<b>Tabla 2-4:</b> Criterio para el estímulo circadiano según UL-DG 24480.....	12
<b>Tabla 3-1.</b> Características generales de la luminaria VEL0233.....	22
<b>Tabla 3-2.</b> Tabla de densidades lumínicas de la luminaria VEL0233.....	23
<b>Tabla 3-3:</b> Tabla de densidades lumínicas de la luminaria Covera.....	26
<b>Tabla 3-4:</b> Densidad lumínica de la luminaria NEO RAY Define 2.....	29
<b>Tabla 3-5:</b> Listado y codificación de luminarias.....	36
<b>Tabla 3-6:</b> Listado y codificación de áreas.....	36
<b>Tabla 3-7:</b> Horas de uso diario de la instalación y tiempo a recambio.....	36
<b>Tabla 3-8:</b> Cálculo del factor de ensuciamiento de la superficie.....	38
<b>Tabla 3-9:</b> Cálculo del factor de mantenimiento de la luminaria.....	38
<b>Tabla 3-10.</b> Cálculo del Factor de Mantenimiento.....	39
<b>Tabla 3-11:</b> Resultados de evaluación fotométrica del diseño de iluminación convencional en la oficina abierta.....	45
<b>Tabla 3-12:</b> Resultados de evaluación fotométrica del diseño de iluminación convencional en la sala de capacitación.....	45
<b>Tabla 3-13:</b> Resultados de evaluación fotométrica del diseño de iluminación convencional en las cafeterías.....	45
<b>Tabla 3-14:</b> Resultados fotométricos para la iluminación integradora de la oficina abierta.....	48
<b>Tabla 3-15:</b> Resultados de evaluación de luz y estímulo circadianos para diferentes CCT y Ev.....	49
<b>Tabla 3-16:</b> Estrategia seleccionada para el cumplimiento del criterio de iluminación circadiana.....	50
<b>Tabla 3-17:</b> Resultados fotométricos para la iluminación integradora de la sala de capacitación.....	53
<b>Tabla 3-18:</b> Resultados fotométricos para la iluminación integradora de las cafeterías..	56
<b>Tabla 4-1:</b> Consumo energético de la oficina abierta con el diseño de iluminación convencional.....	62

<b>Tabla 4-2:</b> Consumo energético de la sala de capacitación con el diseño de iluminación convencional.....	62
<b>Tabla 4-3:</b> Consumo energético de la cafetería con el diseño de iluminación convencional .....	62
<b>Tabla 4-4:</b> Consumo energético total anual de la propuesta de iluminación convencional .....	63
<b>Tabla 4-5:</b> Propuesta económica para la iluminación convencional .....	63
<b>Tabla 4-6:</b> Consumo energético de la oficina abierta con el diseño de iluminación integradora.....	64
<b>Tabla 4-7:</b> Consumo energético de la sala de capacitación con el diseño de iluminación integradora.....	64
<b>Tabla 4-8:</b> Consumo energético de la cafetería con el diseño de iluminación integradora .....	65
<b>Tabla 4-9:</b> Consumo energético total anual de la propuesta de iluminación integradora.	65
<b>Tabla 4-10:</b> Propuesta económica para la iluminación integradora.....	66
<b>Tabla 4-11:</b> Costo de mantenimiento y recambios para la iluminación convencional .....	67
<b>Tabla 4-12:</b> Costo de mantenimiento y recambios para la iluminación integradora.....	68
<b>Tabla 4-13:</b> Flujo de caja para la propuesta de iluminación convencional.....	69
<b>Tabla 4-14:</b> Flujo de caja para la propuesta de iluminación integradora. ....	69

# Introducción

La iluminación es un factor importante para los seres vivos. Es uno de los causantes del proceso evolutivo, y ha ayudado a regular los diferentes ciclos que se necesitan para la vida.

En el ser humano, el ciclo de descanso se da en la noche, mientras que la actividad se da en el día. A este ciclo se le conoce como ciclo circadiano, y tiene un periodo de aproximadamente 24 horas.

El ciclo circadiano se regula gracias al núcleo supraquiasmático presente en el cerebro (Rea, Circadian Light, 2010), y es el encargado de regular la síntesis de melatonina, que es la hormona encargada de estimular el descanso. A una mayor presencia de melatonina en el cuerpo, mayor será el estado de somnolencia y disminuye el estado de alerta. Mientras que, a menor concentración de melatonina en el cuerpo, se aumenta el estado de alerta y atención.

Algunos estudios recientes, principalmente los realizados por Mark Rea y Mariana Figueiro (Rea, 2010) se han enfocado en la investigación acerca de la relación que hay entre la luz y su espectro, y la forma en cómo se relaciona con el cuerpo humano en cuanto al estímulo circadiano, llevando a encontrar que, de acuerdo con el tipo de espectro, su temperatura de color correlacionada y los niveles de iluminación a los que está expuesta una persona, se puede presentar una alteración en la síntesis de melatonina, y junco con ello, el ciclo circadiano.

El presente estudio buscará indagar acerca de las metodologías comunes hoy en día para la iluminación de espacios de trabajo, específicamente en contact center<sup>1</sup>, recrear este tipo de oficinas y proponer un diseño de iluminación teniendo en cuenta los efectos visuales y no visuales de la luz en las personas.

Para lograr esto, se emplearán las herramientas de simulación fotométrica Dialux EVO, donde se realizará el análisis de niveles de iluminancia y luminancia, tanto en planos horizontales como verticales, determinar uniformidades y evaluación del deslumbramiento en el espacio. También se empleará la herramienta REVIT para la presentación del proyecto, y la elaboración de la planimetría para mostrar un producto final.

---

<sup>1</sup> Entiéndase por contact center a un call center o chat center, como una oficina donde un grupo de personas entrenadas se encarga de brindar algún tipo de atención o servicio, bien sea por llamada o mensajería de texto virtual. <https://definicion.de/call-center/>

# **1. Objetivos**

## **1.1 Objetivo General**

Diseñar la iluminación integradora de un contact center, que tome en consideración las necesidades del espacio de estudio, y contribuya a mejorar las condiciones ambientales para las personas que laboran en los contact center.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Implementar los requisitos normativos y recomendaciones generales de iluminación establecidos en el estado del arte.
- Evaluar el impacto económico que puede tener una propuesta de iluminación integradora, frente a un diseño de iluminación convencional.



## 2. Bases teóricas

### 2.1 Sistema de visión del ser humano

Para hablar del efecto de la luz sobre las personas, es importante entender como es el proceso de visión del ser humano.

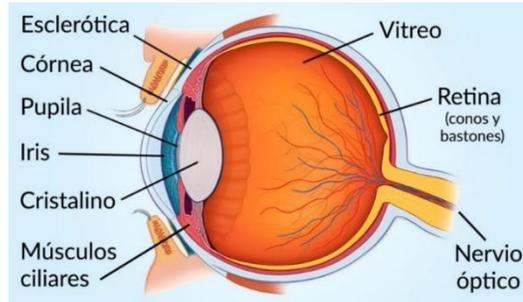
Para el ser humano, el órgano encargado de la visión es el ojo. Algunas de las partes de interés son<sup>2</sup>:

- El **iris**, que es diafragma delgado donde se encuentra la pupila.
- La **pupila**, que es la abertura por la cual la luz ingresa al ojo. La pupila no es de un diámetro fijo, si no que presenta variaciones con el ánimo de controlar la cantidad de luz que ingresa al ojo.
- El **crystalino**, que es una estructura transparente y biconvexa que se halla encerrada en una cápsula. El cristalino se encuentra ubicado en la parte posterior del iris. El cristalino cambia constantemente su convexidad, con el ánimo de enfocar las imágenes sobre la retina de los objetos cercanos o distantes.
- La **retina**, la cual es la membrana ubicada en la parte posterior del ojo. En esta se ubican los conos y los bastones, que son las células encargadas de la recepción de la luz, y del proceso visual. A su vez, estas comunican con las células ipRGC<sup>3</sup>.

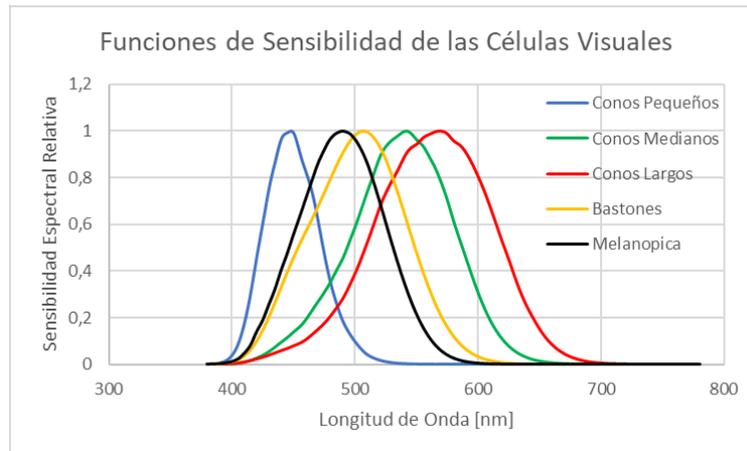
---

<sup>2</sup> Tomado de: Anatomía con orientación clínica 8va Edición - Moore – Capítulo 8

<sup>3</sup> Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells o células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensibles.

**Figura 2-1:** Estructura básica del ojo<sup>4</sup>

En total, son cinco células foto-receptoras conocidas: tres tipos de conos (largos, medianos y pequeños), los bastones y las ipRGC. A cada una de estas células se le asocia una curva de sensibilidad espectral y sus respectivos foto-pigmentos, siendo los conos los encargados de la visión fotópica y los bastones de la visión escotópica, mientras que las ipRGC no hacen parte del proceso visual, si no que su función está más orientada en procesos no visuales en el organismo, como llevar la información al núcleo supraquiasmático para la regulación de diferentes ciclos en el organismo.

**Figura 2-2:** Curvas de Sensibilidad Espectral de las Células Visuales<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Imagen tomada de: <https://www.aarp.org/espanol/salud/enfermedades-y-tratamientos/info-2020/anatomia-del-ojo-humano.html>

<sup>5</sup> Tomado de: CIE S 026. System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light

## **2.2 Factores que afectan la visión.**

Múltiples son las afectaciones que puede padecer el sistema de visión del ser humano. A continuación, se habla un poco acerca de algunas de las que pueden llegar a presentarse en las áreas de estudio.

### **2.2.1 Deslumbramiento**

El deslumbramiento es la sensación visual que producen las áreas brillantes dentro del campo de visión y que se puede experimentar como un deslumbramiento molesto o discapacitante.<sup>6</sup>

El deslumbramiento puede generar fatigas visuales, dolores de cabeza, y en algunos casos, puede limitar la visión, por lo que es importante tener presente los factores ambientales y de instalación, que pueden llegar a generar sensaciones molestas para mitigarlas.

### **2.2.2 Efecto Flicker**

El “Flicker” es definido como “el cambio en el flujo de una luminaria debido a fluctuaciones en la tensión de alimentación”<sup>7</sup>. Estas variaciones pueden ser de tal forma que sean percibidas o no para el ser humano, es decir, que sean visibles o no visibles.

Sea o no percibido, el flicker puede llegar a generar efectos en las personas tales como molestias visuales, fatiga, dolores de cabeza o migrañas, foto-epilepsia, vértigo, entre otros. Adicionalmente, en lugares donde se trabaje con máquinas rotativas se puede llegar a presentar un riesgo adicional, dado que se puede presentar un efecto estroboscópico, en el cual que objetos en movimiento pueden aparentar ser más lentos o incluso estar quietos.

---

<sup>6</sup> Tomado de: “NTC 6519-1: Requisitos y aplicaciones de iluminación”

<sup>7</sup> Tomado de: “LED Lighting Flicker, its Impact on Health and the Need to Minimize it”

### 2.2.3 Desgaste del cristalino

A medida que el cuerpo humano va envejeciendo, el cristalino va adoptando un tono más amarillento y se va tornando menos transparente<sup>8</sup>. Esto genera una disminución en la capacidad y calidad de la visión con la que cuenta una persona, así como una disminución en el estímulo circadiano.

## 2.3 Human Centric Lighting (HCL)

El Human Centric Lighting o Iluminación Centrada en el Ser Humano, es una propuesta de iluminación que busca tener en cuenta los efectos visuales y no visuales que tiene la luz en las personas. Con esto, se busca que los espacios integren la comodidad visual y la generación de ambientes cómodos y que no generen alguna molestia a las personas que los usan, considerando los aspectos arquitectónicos que se puedan resaltar del lugar, al mismo tiempo que se tiene en cuenta los efectos biológicos y los ritmos circadianos relacionados con la interacción con la luz.

### 2.3.1 Luz circadiana

La luz circadiana es el equivalente propuesto por Rea et al<sup>9</sup>, para la evaluación de la iluminación que tendrá un efecto circadiano efectivo en el sistema del ser humano. Este depende del estímulo al que es sometido las células ipRGC en la zona ganglionar de la retina, así como del estímulo que reciben las demás células visuales presentes en la retina.

La luz circadiana está dada por la **Ecuación 2-1**. Esta formulación está basada en el comportamiento del estímulo debido al accionamiento de los canales oponentes Azul-Amarillo principalmente: cuando el canal está activado, entonces la ecuación del estímulo circadiano se ve afectada por la información procedente de los conos de longitud de onda corta, los conos de longitud de onda media y los bastones, mientras que cuando esta información es muy baja, entonces la luz circadiana se verá reflejada exclusivamente por la excitación del canal melanópico dado por las células ipRGC. Una explicación más

---

<sup>8</sup> Tomado de: "Aging of the human lens. Pokorny (1987)"

<sup>9</sup> Rea et al, "Circadian Light". Journal of Circadian Rhythms 2010 8:2.

detallada de este proceso puede ser consultado en “Circadian Light”, publicado por Rea et al.

### Ecuación 2-1: Luz Circadiana

$$CL_A = \begin{cases} 1622 \left[ \int M_{c\lambda} E_{\lambda} d\lambda + \left( a_{b-y} \left( \int \frac{S_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d\lambda - k \int \frac{V_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d\lambda \right) - a_{rod} \left( 1 - e^{-\frac{\int V'_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda}{RodSat}} \right) \right) \right] & Si \left( \int \frac{S_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d\lambda - k \int \frac{V_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d\lambda \right) \geq 0 \\ 1622 \int M_{c\lambda} E_{\lambda} d\lambda & Si \left( \int \frac{S_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d\lambda - k \int \frac{V_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d\lambda \right) < 0 \end{cases}$$

### 2.3.2 Estímulo circadiano

El estímulo circadiano (CS por su nombre en inglés), es el estímulo fotópico efectivo mediante el cual se acota la supresión nocturna de melatonina<sup>10</sup>. Puede tomar valores desde 0 hasta 0,75, siendo 0 una supresión nula de melatonina, mientras que 0,75 indica una supresión alta de la producción de melatonina. Está dada por la **Ecuación 2-2**.

### Ecuación 2-2. Estímulo Circadiano

$$CS = 0,75 + \frac{0,75}{1 + \left( \frac{CL_A}{215,75} \right)^{0,864}}$$

## 2.4 Requisitos normativos

Para la selección de los niveles de iluminación que se requiere en los diferentes espacios seleccionados en el proyecto, se seleccionó la norma NTC 6519-1 publicada por el Icontec en el 2021. Dentro de las bases que se tuvieron en cuenta para esta norma está la EN 12464-1, publicada en el 2021. Se tomará en cuenta la norma indicada puesto que es de las publicaciones más recientes que se tienen, y que toman en consideración las actualizaciones en el campo de la iluminación, tomando en cuenta investigaciones recientes para la comodidad visual, salud y nuevas tecnologías que hay en el mercado.

<sup>10</sup> Tomado de: “Circadian Light”, Rea et al. Journal of Circadian Rhythms 2010 8:2.

### 2.4.1 Iluminación de las estaciones de trabajo con pantallas VDT

Un terminal de pantalla visual o terminal de pantalla de video (VDT) es una pantalla de computadora. Los VDT pueden ser parte de una computadora o dispositivo de hardware separados conectados a una computadora con un cable. Estos dispositivos separados a veces se denominan monitores de computadora.<sup>11</sup>

La iluminación para los puestos de trabajo con VDT debe ser apropiada para todas las tareas realizadas en el puesto de trabajo, por ejemplo, lectura de la pantalla, lectura de texto impreso, escritura en papel trabajo con el teclado.<sup>12</sup>

Es necesario tomar en cuenta los límites de luminancias medias provenientes de las luminarias, con el ánimo de reducir sensaciones molestias en la visión de las personas, y así mismo, reducir la fatiga visual.

**Tabla 2-1:** Limite de luminancias para las luminarias en zonas de trabajo con pantallas VDT.

Luminancia de estado alto de la pantalla	Pantalla de luminancia alta $L > 200 \text{ cd/m}^2$	Pantalla de luminancia media $L \leq 200 \text{ cd/m}^2$
Caso A Polaridad positiva y requisitos normales relativos al color y detalles de la información mostrada, para pantallas utilizadas en oficinas, formación, etc.	$\leq 3\,000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1\,500 \text{ cd/m}^2$
Caso B Polaridad negativa y/o requisitos superiores relativos al color y detalles de la información mostrada, para pantallas utilizadas en CAD, control de color, etc.	$\leq 1\,500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1\,000 \text{ cd/m}^2$

<sup>11</sup> Tomado de: <https://spiegato.com/es/que-es-un-vdt> - Consultado el 27/04/2023

<sup>12</sup> UNE-EN 12464-1:2022 – Capítulo 5.9 Iluminación de los puestos de trabajo con equipo con pantalla de visualización

La polaridad de la pantalla hace referencia a la visualización que se tiene de la pantalla: si se cuenta con caracteres claros sobre fondo oscuro, se tendrá una polaridad negativa. Mientras que caracteres oscuros sobre fondo claro será una polaridad positiva.

En trabajos de ofimática comunes, se contará con el Caso A, es decir, con polaridad positiva.

## 2.4.2 Niveles de iluminancia requeridos

Se toma como base los requisitos de iluminación planteados en la NTC6519-1 del 2021, tal como se subraya en la **Tabla 2-2** y la **Tabla 2-3**.

**Tabla 2-2** Requisitos normativos para zonas de descanso según NTC6519-1

Ref	Área de trabajo, tarea visual o actividad	Em [lx]	Uo	UGR	CRI (Ra)	Altura de la superficie de cálculo [m]	Tipo de superficie de cálculo
1. Áreas generales dentro de edificaciones							
1,2	Salones multipropósito de áreas comunes.	200	0,40	22	80	0,75	P
1,8	Comedores, cafetería y cocinetas.	200	0,40	22	80	0,75	T
1,9	Salas de espera/descanso	100	0,40	22	80	0,00	P

**Tabla 2-3:** Requisitos normativos para oficinas según NTC6519-1

Ref	Área de trabajo, tarea visual o actividad	Em [lx]	Uo	UGR	CRI (Ra)	Altura de la superficie de cálculo [m]	Tipo de superficie de cálculo
3. Oficinas							
3,2	Escritura, digitación, lectura, procesamiento de datos.	500	0,60	19	80	0,75	T
3,3	Trabajo exclusivamente con pantallas VDT	300	0,60	19	80	*	T

### 2.4.3 Requisitos para la Iluminación circadiana

Dada la importancia que se ha evidenciado de contar con una implementación de iluminación integradora en diferentes áreas, tales como espacios de descanso, espacios de trabajo, zonas de hospitales y demás, se han creado nuevas guías de diseño y reglamentos en torno a la implementación de este tipo de sistemas.

Para el presente proyecto, se toma como base la guía de diseño UL-DG 24480 publicada en el 2019. En esta guía de diseño se dan 6 pasos a tener en consideración para la implementación de un diseño de iluminación circadiano, tal como sigue:

#### **Paso 1: Establecer un criterio de diseño de iluminación circadiano efectivo.**

El principal objetivo de diseño de iluminación es conseguir un mínimo de dos horas de iluminación circadiana efectiva, según el rango horario.

**Tabla 2-4:** Criterio para el estímulo circadiano según UL-DG 24480.

<b>Rango Horario</b>	<b>Estímulo Circadiano (CS)</b>
7:00 am – 4:00 pm	$\geq 0,30$
5:00 am – 7:00 pm	$\leq 0,20$
8:00 pm en adelante	$\leq 0,10$

#### **Paso 2: Seleccionar un tipo de luminaria**

Se deberá contar con las fotometrías de las luminarias, con el ánimo de conocer su distribución de intensidades. Luminarias del mismo tipo pueden tener diferencias en las relaciones de iluminancia vertical con iluminancias horizontales ( $E_v/E_h$ ) que se puedan obtener en el espacio.

#### **Paso 3: Seleccionar una distribución de potencia espectral de la fuente de luz**

De la fuente de luz seleccionada, se deberá solicitar al fabricante la distribución de potencia espectral (SPD), o realizar la medición con ayuda de un espectro-radiómetro. Una adecuada selección del espectro ayudará a alcanzar la iluminación circadiana deseada.

Fuentes de luz con el mismo CCT pueden presentar diferencias en términos de su SPD.

**Paso 4: Realizar los cálculos fotométricos para la edificación.**

Se deberá calcular la iluminancia vertical a la altura del ojo ( $E_v$ ), el cual estará definido a una altura entre 0,90 y 1,30 m, sobre el nivel de piso. Se deberá obtener por lo menos 10 muestras de  $E_v$  en el espacio.

**Paso 5: Calcular el estímulo circadiano (CS) a partir de la iluminancia vertical fotópica a la altura del ojo y la distribución de potencia espectral (SPD)**

A partir del SPD y la  $E_v$  calculada en software, se calcula el CS con ayuda de una calculadora de CS, por ejemplo, “CS Calculator” del Lighting Research Center<sup>13</sup>.

**Paso 6: Determinar si el sistema de iluminación seleccionado cumple el criterio de diseño de iluminación circadiana.**

Si los criterios de diseño para la iluminación circadiana efectiva establecidos en el paso 1 no se cumplen, se deberá ajustar las luminarias o las fuentes de luz. También se puede considerar luminarias que no se encuentren en el plano del techo.

## 2.4.4 Iluminación de emergencia

En instalaciones con alta concentración de personas es obligatorio contar con iluminación de emergencia. Para el presente proyecto, se siguen los lineamientos dados en la norma NTC 6556:2021, que da los parámetros que deben cumplir las diferentes áreas y vías de evacuación para garantizar la seguridad de las personas.

Se deberá tener presente los siguientes conceptos establecidos en la NTC 6556:

- **Iluminación de emergencia:** Iluminación prevista para ser usada cuando falla el suministro de energía eléctrica de la iluminación general.

---

<sup>13</sup> CS Calculator disponible en: <http://www.lrc.rpi.edu/cscalculator>

- **Iluminación de evacuación:** Parte de la iluminación de emergencia que ilumina las rutas de evacuación, las zonas que requieren iluminación (de seguridad) antipánico y las áreas de alto riesgo cuando falla la iluminación normal, así como la señalización de evacuación.
- **Ruta de evacuación:** Ruta diseñada para evacuar en el evento de una emergencia.
- **Espacio antipánico:** Zona de una edificación no incluida en la ruta de evacuación, de superficie mayor a 60 m<sup>2</sup> o en zonas más pequeñas, donde exista un riesgo complementario por la presencia de un gran número de personas.
- **Señalización de evacuación:** Conjunto de señales que presenta un mensaje de seguridad general, obtenido por la combinación de colores y formas geométricas y que, mediante la adición de un símbolo gráfico, da un mensaje de seguridad particular.

Para la iluminación de las rutas de evacuación, las iluminancias horizontales en el suelo a lo largo de la línea central no deben ser menor que 1 lx. La banda a lo largo de la línea central que comprende no menos de la mitad del ancho de la ruta de evacuación deber iluminarse a un mínimo del 50% de ese valor.

La relación de diversidad  $U_d$  de la iluminancia mínima en relación con la máxima no debe ser menos de 1:40 equivalente a 0,025 a lo largo de la línea o eje central de la ruta de evacuación.

En cuanto a la iluminación antipánico, su propósito dar una iluminación suficiente para que las personas puedan detectar obstáculos y garantizar un movimiento seguro, que permita llegar fácilmente a la ruta de evacuación.

La iluminancia horizontal a nivel del suelo en cualquier punto del área, excluyendo un borde de 0,50 m del perímetro de área evaluada debe ser mayor o igual que 0,50 lx, y su relación de diversidad  $U_d$  de la iluminancia mínima en relación con la máxima no debe ser menor de 1:40, equivalente a 0,025 en el área calculada.

## 3. Diseño de Iluminación

### 3.1 Descripción del área a iluminar

Para el planteamiento del proyecto, se tomó una arquitectura típica de un contact center que se tenía a disposición, y a partir de allí, se seleccionaron tres áreas para realizar la evaluación, presentadas en la **Figura 3-1** y que se mencionan a continuación:

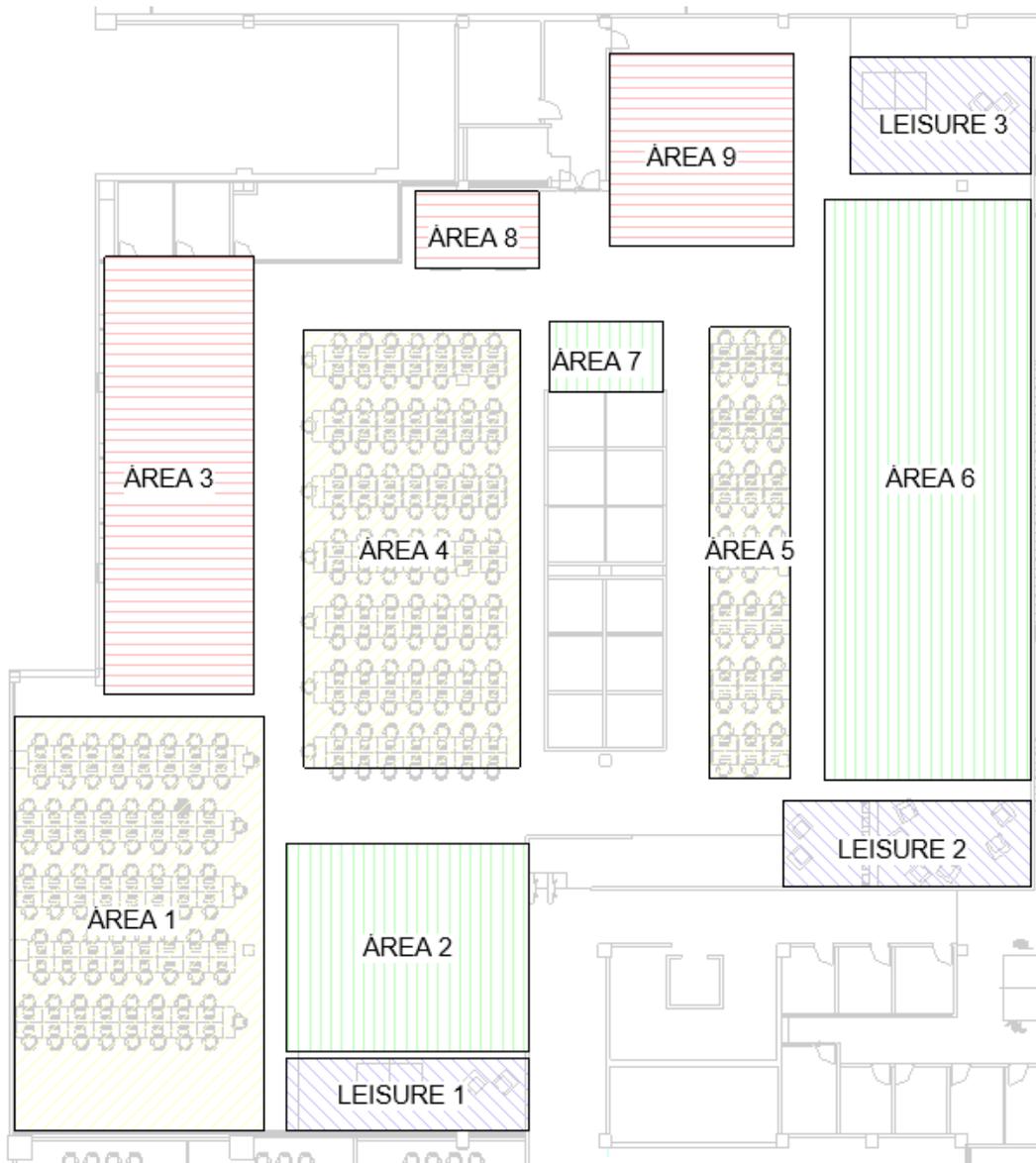
- El área principal de 1337,80 m<sup>2</sup> consta de una oficina abierta con 500 puestos de trabajo. En esta será donde los trabajadores pasan la mayor parte de su jornada desempeñando las labores encargadas, y, por lo tanto, donde presentarán una exposición alta y continua a la iluminación de esta zona.
- La segunda comprende dos cafeterías de 196,13 m<sup>2</sup> y 261,21 m<sup>2</sup> (457,34 m<sup>2</sup> en total) como área de descanso. La permanencia en este lugar es más corta e idealmente deberá de contar con un diseño que permita tener un descanso adecuado.
- La tercera es un salón de entrenamiento tipo con 56,50 m<sup>2</sup>, donde se capacita el personal nuevo, o se da un reentrenamiento del personal existente. Para este espacio se buscará una estrategia que estimule el aprendizaje y la concentración.

Dado que no se cuenta con detalles de los acabados arquitectónicos, se tratará de tomar las características más comunes que se suelen presentar en estos espacios, y de ser posible, se propondrá algunos acabados que vayan en pro del diseño de iluminación que se proponga.

**Figura 3-1:** Arquitectura seleccionada para el contact center. En azul se encuentra la oficina abierta; en verde las cafeterías 1 y 2; en naranja el salón de entrenamiento



Para las simulaciones que se van a realizar, así como para establecer las escenas de control necesarias para cada caso, se dividirá la oficina abierta en 9 zonas o sub-áreas como se muestra en la **Figura 3-2**.

**Figura 3-2:** Sub-áreas en la oficina abierta

### 3.2 Encuesta de percepción y estado actual de los contact center

Un diseño de iluminación se realiza buscando establecer las necesidades de las personas que ocuparán un espacio, generando ambientes que sean cómodos, amenos, reduciendo los riesgos y controlando los efectos no visuales de la luz en las personas. Es decir, un diseño de iluminación va orientado al usuario final del espacio.

Para el presente proyecto se realizó una encuesta virtual a personas que trabajan o han trabajado en contact center, de forma tal que se estudie la percepción que han tenido de estos espacios, y así mismo, se tome una generalidad de lo que se suele encontrar en los contact center para establecer el diseño de iluminación convencional a proponer.

El número de personas mínimas a ser encuestadas se determinó por medio de la **Ecuación 3-1** planteada por Murray y Larry<sup>14</sup>

**Ecuación 3-1.** Número de personas mínimas a ser encuestadas

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2(N - 1) + Z^2 \sigma^2}$$

Donde:

- $n$  Tamaño de la muestra que se busca.
- $Z$  Valor que se obtiene a través de niveles de confianza. Es un número constante que generalmente adquiere dos valores según el nivel de confianza que se requiera. El 99% es el valor más elevado (equivale a 2,58) y el 95% (equivale a 1,96) es el valor mínimo admitido para que la investigación se considere confiable.
- $\sigma$  Desviación estándar de la población
- $N$  Tamaño del universo a estudiar.
- $e$  Es el límite de error muestral admisible. Comúnmente oscila entre 1% y el 9%.

Para el caso del área bajo estudio, la población total será de 500 personas, la cual es la cantidad de puestos de trabajo disponibles en el espacio propuesto. Se trabajará con una confianza del 95%, por lo que se tendrá un valor de 1,96. Como no se conoce la desviación estándar de la población, se toma un valor de 0,5. Finalmente, el límite de error muestral será del 9%, es decir, 0,09.

Reemplazando los valores anteriormente descritos en la **Ecuación 3-1**:

---

<sup>14</sup> Tomado de: Spiegel, M., Stephens, L. "Estadística de Schaum", 4ta Edición, McGraw Hill, 2004

$$n = \frac{(1,96)^2 * (0,5)^2 * 500}{(0,09)^2 * (500 - 1) + (1,96)^2(0,5)^2} = 95,99 \approx 96$$

Por lo tanto, se necesitará una muestra (encuestados) de 96 personas.

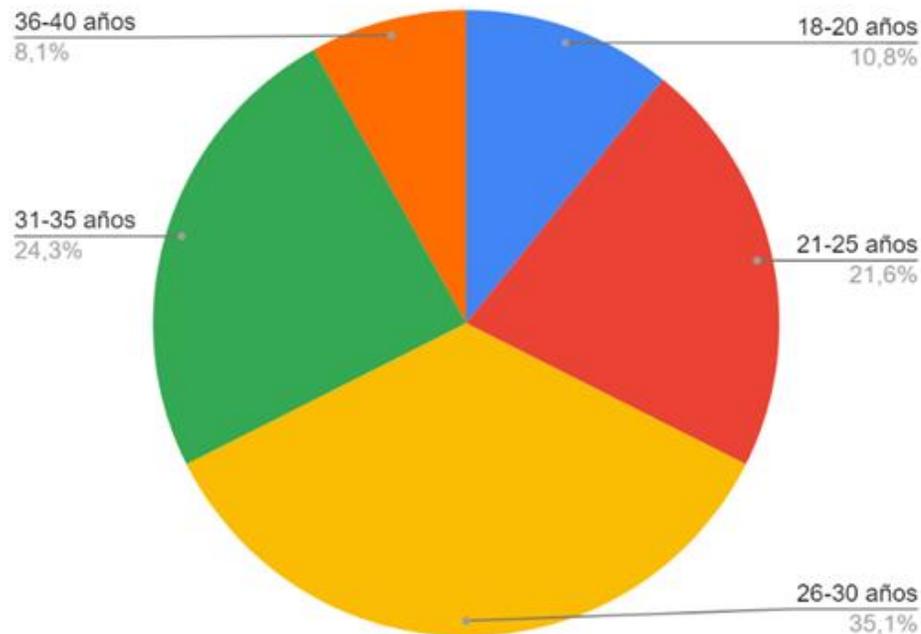
La encuesta se dividió en 5 partes, de la siguiente manera:

- La primera, establecer las condiciones de cada persona y tipificarlas.
- La segunda, identificar cómo eran los espacios en los cuales laboraba.
- La tercera, identificar a qué tipo de iluminación estaban expuestos.
- La cuarta, mirar antecedentes de afectaciones visuales y posibles molestias a raíz de la iluminación a la cuál estaban expuestos.
- Quinto, se abrió la posibilidad a que la persona identificara posibles espacios en los que se sentiría cómodo trabajando.

La encuesta fue publicada por redes sociales y compartida a personas que trabajan o han trabajado en contact center, consiguiendo 37 respuestas, lo que significa que no se alcanzó con el mínimo de personas esperado. Se buscó contar con una buena diversidad en las respuestas, de forma tal que se tuviera información de diversos contact center, y no de un lugar en particular.

De esta información se destaca lo siguiente:

- El rango de edades de los consultados oscila entre los 18 hasta los 38 años, presentándose una mayor cantidad de personas con edades entre los 26 a los 30 años.

**Figura 3-3:** Rango de edades de las personas encuestadas

- Las personas que suelen trabajar en contact center, suelen presentar una disminución en sus hábitos de sueño.
- Si bien en los contact center se cuenta con aporte de iluminación de luz natural, hay una cantidad casi igual de espacios en los que no se cuenta con aporte de luz natural y dependen netamente de la iluminación eléctrica.
- La mayor parte de los espacios de trabajo presentes en los contact center son lugares monótonos y sin una variedad de colores en el ambiente que puedan afectar el espectro que reciben las personas, o los estímulos visuales.
- En cuanto a los lugares de descanso, en general eran espacios muy similares a los lugares de trabajo y no había un cambio significativo en las horas de descanso.
- Tanto para espacios de trabajo como para lugares de descanso, primaba la iluminación con un CCT neutro. Sin embargo, hay una porción significativa dentro de los consultados que mencionó que en los lugares de trabajo la tonalidad de la luz era fría.
- La mayor parte de los encuestados respondió que la iluminación de los lugares de trabajo era adecuada y cómoda. Aunque la cantidad de personas que indicaron que la iluminación era alta fue significativa.

- En ningún caso se contaba con iluminación dinámica, bien sea por dimerización de las fuentes de luz, o por control de la temperatura del color.
- Al contar con iluminación muy similar en lugares de descanso y lugares de trabajo, una gran parte de las personas mencionaron que no sentían un descanso adecuado a la hora de cambiar de ambiente.
- De la población consultada, solo el 32% no contaban con antecedentes de problemas en la visión.
- Todas las personas encuestadas han presentado fatiga visual estando en el contact center.
- El 91,9% de las personas consultadas ha llegado a presentar molestias visuales y/o dolores de cabeza estando en el contact center.
- Durante el trabajo en el contact center, el 35,48% de las personas encuestadas presentó la aparición o un aumento en las patologías visuales.

Los resultados de la encuesta pueden ser consultadas en el anexo A.

### **3.3 Selección de luminarias**

#### **3.3.1 Luminarias para diseño de iluminación convencional**

Para el diseño de iluminación convencional, se trabajará con paneles LED rectangulares, en formato 1,20 x 0,30 m. Esto debido a que son el tipo de luminarias más comunes para las zonas de oficinas.

Según la encuesta realizada (Ver apartado 3.2 y anexo A), la iluminación con la que se cuenta en la zona en las oficinas abiertas es igual en todas las demás áreas, incluyendo las zonas de descanso, por lo que conservará este tipo de luminaria en la generalidad del proyecto.

Con este diseño se buscará cumplir los requisitos mínimos establecidos por la norma, sin considerar la estética que puede llegar a aportar la iluminación en el ambiente.

Las luminarias escogidas para este caso serán de la marca “VCP Ecolighting”, de referencia “VEL0233 - PANEL LED PREMIUM” de uso interior, con las especificaciones que se muestran en la **Tabla 3-1**.

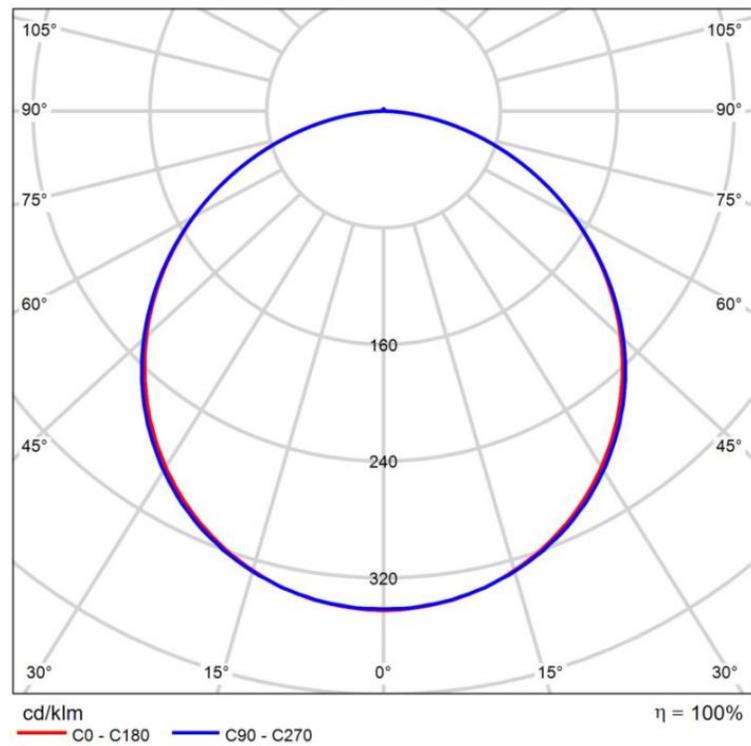
**Tabla 3-1.** Características generales de la luminaria VEL0233

Referencia	Flujo Luminoso [lm]	CCT [K]	IRC	Tensión de Operación [V]	Potencia [W]	Eficacia [lm/W]
VEL0233	4750	5000	80	100-277	40	118,75

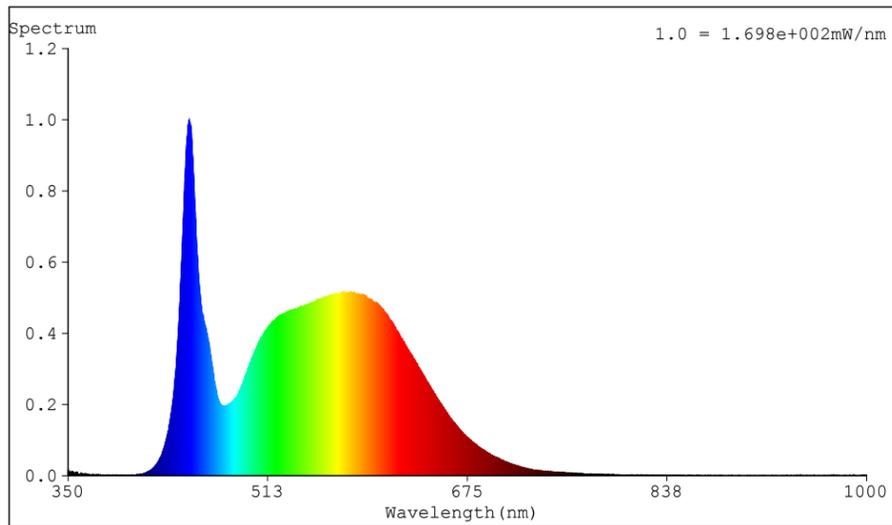
Esta luminaria no cuenta con la opción de dimerización, por lo que se deberá implementar un control ON/OFF, manteniendo el 100% de su flujo en el tiempo de funcionamiento.

Otras de sus características son:

- Vida útil L80B20 de 50.000 horas
- Ángulo de apertura de 110°, tal como se aprecia en la **Figura 3-4**.
- IP40, es decir que soporta objetos con diámetro superior a 1 mm, pero no cuenta con protección ante líquidos.
- Resistencia al impacto IK05
- La distribución de luminancias de la luminaria se puede apreciar en la **Tabla 3-2**
- La distribución de potencia espectral de la luminaria es estática, por lo que no se puede aplicar variación del CCT. Este espectro se puede apreciar en la **Figura 3-5**.

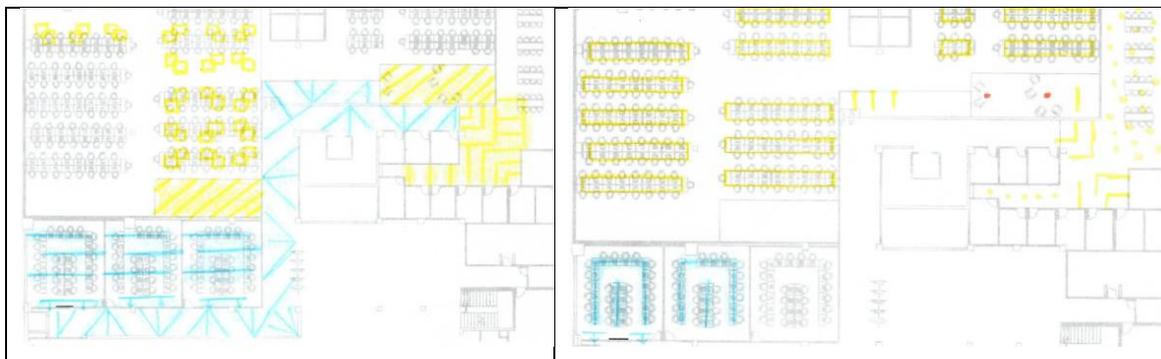
**Figura 3-4.** Diagrama polar de la luminaria VEL0233**Tabla 3-2.** Tabla de densidades lumínicas de la luminaria VEL0233

$\gamma$	C0°	C15°	C30°	C45°	C60°	C75°	C90°
65°	3913.72	3916.74	3919.76	3921.86	3923.97	3915.59	3907.22
70°	3725.83	3722.25	3718.68	3719.98	3721.28	3712.48	3703.67
75°	3481.05	3466.89	3452.73	3454.88	3457.02	3445.92	3434.82
80°	3141.35	3112.82	3084.28	3084.76	3085.24	3072.94	3060.63
85°	2651.54	2563.00	2474.47	2484.82	2495.17	2464.92	2434.66

**Figura 3-5.** Distribución espectral de la luminaria VEL0233

### 3.3.2 Luminarias para diseño con iluminación integradora

Para el diseño de iluminación integradora, se trabaja de forma independiente las tres áreas de estudio presentes en el contact center, caracterizando sus necesidades y realizando un planteamiento conceptual preliminar, por medio del cual se determinará el tipo de luminaria más adecuada para cada ambiente.

**Figura 3-6:** Propuestas preliminares para la iluminación de las áreas del contact center.

### SALA DE CAPACITACIONES

La sala de capacitaciones es un espacio de permanencia corta, donde se llevarán a cabo tareas de entrenamiento para los nuevos aspirantes, así como reentrenamientos de las personas que ya laboran en el lugar.

El uso principal será con pantallas VDT, y se contará adicionalmente con un TV para las presentaciones del orador, así como tableros acrílicos.

La propuesta de iluminación está centrada en generar un ambiente cómodo para los aspirantes, que permita concentrarse en las explicaciones y mantenerse alerta. Por esto, se escoge un CCT de las luminarias de 4000 K, de forma tal que no se tenga un impacto muy alto sobre el estímulo circadiano.

Se selecciona una luminaria de distribución de flujo directa/indirecta, de forma tal que se genere un ambiente visual agradable para las personas, mitigando el deslumbramiento. Esta luminaria es de la marca “Cooper Lighting”, de la familia “Covera”.

**Figura 3-7:** Luminaria Covera para la sala de capacitación

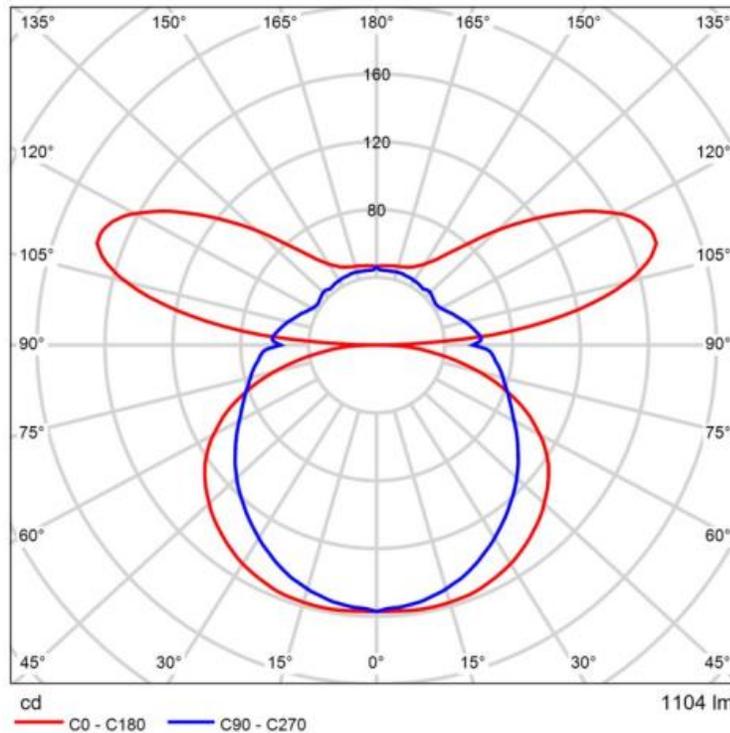


Algunas de sus características principales son:

- Luminaria de instalación suspendida, con distribución directa/indirecta.
- Vida útil L70 452.000 horas

- Temperatura de color seleccionada 4000K, con CRI  $\geq 85$
- Sus características ayudan a tener UGR bajos.
- Cuenta con una eficacia de 113 lm/W

**Figura 3-8:** Diagrama polar de la luminaria Covera



**Tabla 3-3:** Tabla de densidades lumínicas de la luminaria Covera

y	C0°	C15°	C30°	C45°	C60°	C75°	C90°	C105°	C120°	C135°	C150°	C165°	C180°
65°	1646.37	1487.43	1389.34	1341.43	1295.25	1266.13	1252.80	1266.13	1295.25	1341.43	1389.34	1487.43	1646.37
70°	1634.69	1494.46	1410.58	1372.51	1351.11	1332.94	1318.43	1332.94	1351.11	1372.51	1410.58	1494.46	1634.69
75°	1575.16	1460.65	1434.91	1477.42	1459.52	1446.27	1438.75	1446.27	1459.52	1477.42	1434.91	1460.65	1575.16
80°	1459.30	1455.69	1530.83	1671.30	1652.66	1643.04	1644.21	1643.04	1652.66	1671.30	1530.83	1455.69	1459.30
85°	1255.79	1733.79	1940.93	2070.91	1971.62	1933.64	1949.30	1933.64	1971.62	2070.91	1940.93	1733.79	1255.79

## **OFICINA ABIERTA**

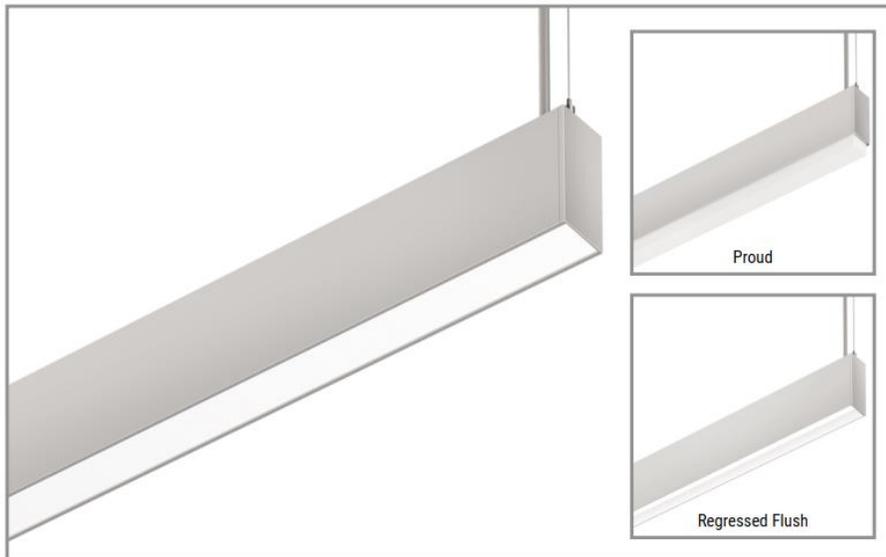
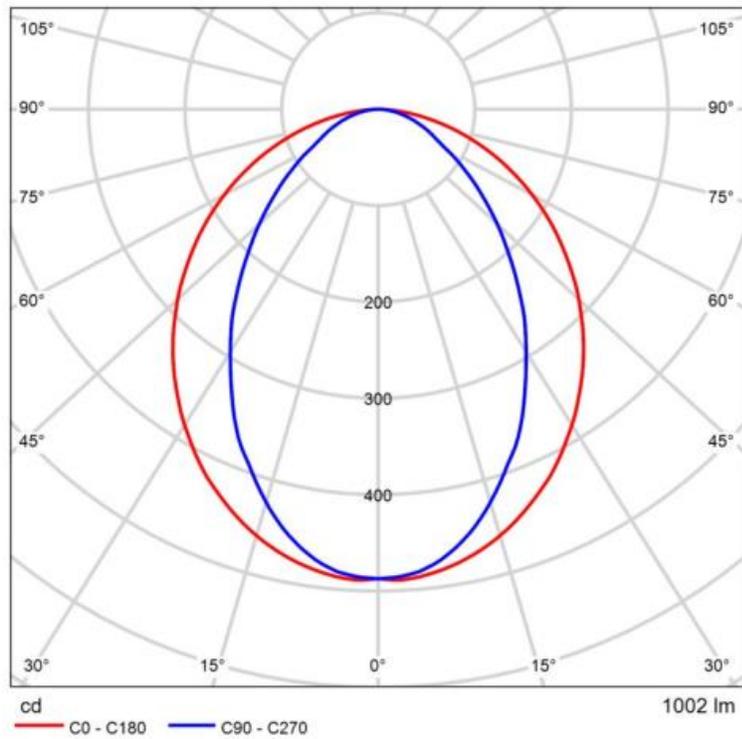
Para la oficina abierta, la intención con la iluminación, aparte de ser funcional, es romper con esquemas comunes de iluminación que se puedan presentar en zonas de trabajo, y generar un ambiente diferente, a la vez que se implementa una propuesta de iluminación integradora, que ayude a reducir efectos nocivos de la iluminación en las personas, a la vez que se establece una propuesta que ayude con el ciclo circadiano de sus ocupantes.

Para esto, es necesario seleccionar una luminaria que sea dimerizable, y permita realizar ajuste de la temperatura de color correlacionada, de forma tal que su espectro ayude a llegar al estímulo circadiano necesario.

Teniendo en cuenta lo anterior, se selecciona una luminaria lineal de la marca “Cooper Lighting” de la familia NEO-RAY, la cual permite cumplir con las características necesarias, a la vez que cuenta con una óptica recesada, de forma tal que ayude a minimizar los efectos del deslumbramiento en las personas, buscando así un entorno visual cómodo.

Algunas de sus características destacables son:

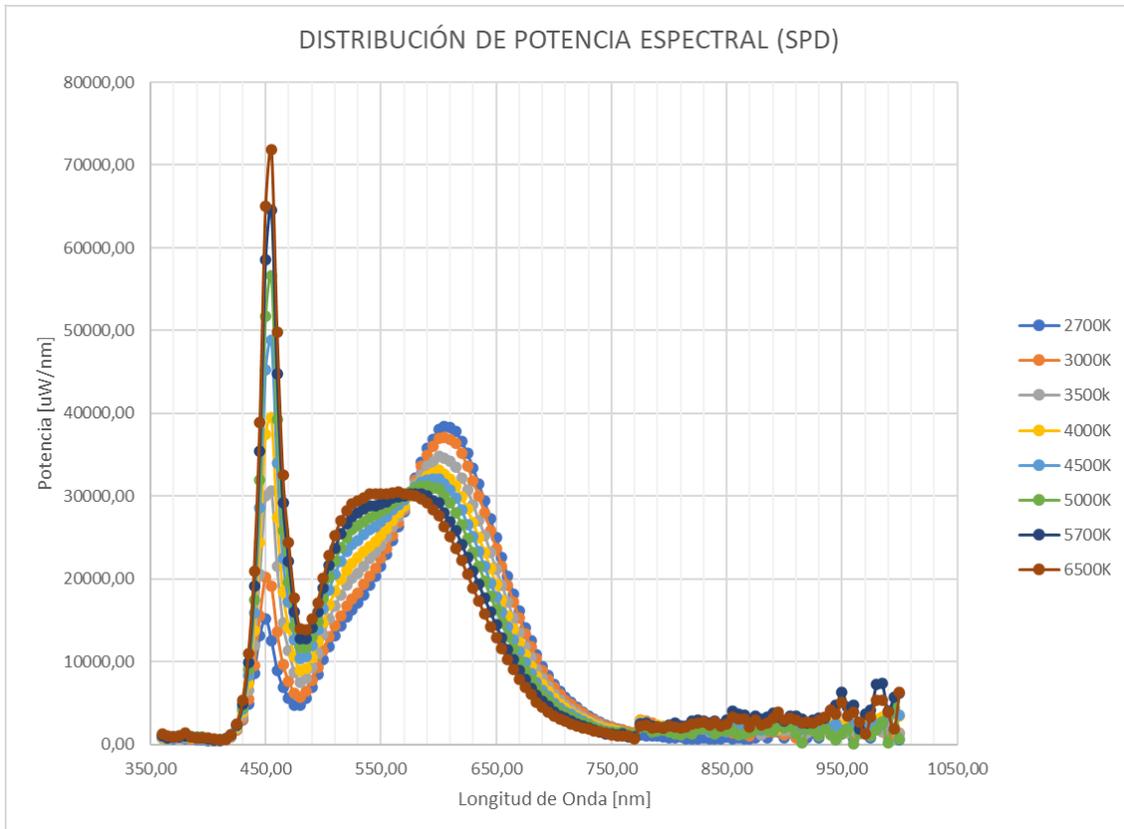
- Luminaria Vivid Tune – Blanco dinámico.
- Control 0-10V para dimerización y ajuste de blanco.
- Potencia de 11,6 W
- Eficacia de 86,3 lm/W
- Flujo luminoso 1002 lm
- Vida útil L70 237.000 horas

**Figura 3-9:** Luminaria Cooper Lighting NEO RAY Define 2**Figura 3-10:** Diagrama polar de la luminaria NEO RAY Define 2

**Tabla 3-4:** Densidad lumínica de la luminaria NEO RAY Define 2

y	C0°	C15°	C30°	C45°	C60°	C75°	C90°	C105°	C120°	C135°	C150°	C165°	C180°
65°	5810.73	4901.49	3941.31	2930.20	2548.16	2340.59	2307.48	2340.59	2548.16	2930.20	3941.31	4901.49	5810.73
70°	5475.91	4393.32	3372.09	2412.23	2273.76	2177.78	2124.27	2177.78	2273.76	2412.23	3372.09	4393.32	5475.91
75°	5059.11	3778.22	2825.87	2202.06	2073.14	1998.28	1977.48	1998.28	2073.14	2202.06	2825.87	3778.22	5059.11
80°	4472.24	3077.57	2243.87	1971.13	1859.56	1803.77	1803.77	1803.77	1859.56	1971.13	2243.87	3077.57	4472.24
85°	3519.72	2371.18	1716.63	1556.08	1556.08	1556.08	1556.08	1556.08	1556.08	1556.08	1716.63	2371.18	3519.72

**Figura 3-11:** Distribución de potencia espectral de las diferentes temperaturas de color de la luminaria con blanco dinámico



## CAFETERÍA

Para la cafetería se busca que la iluminación con respecto a las áreas de trabajo sea diferente y genere un ambiente completamente de descanso, y permita generar atmósferas más amenas para sus ocupantes. Por esto, se establece inicialmente una propuesta conceptual para este espacio, la cual se muestra en la **Figura 3-12**, de forma tal que se tenga un punto de partida para lograr la atmósfera deseada.

**Figura 3-12.** Propuesta conceptual de la iluminación en cafetería



Para esta propuesta, se busca una luminaria tipo globo, que pueda instalarse descolgada sobre el espacio. Se encontró la luminaria “Globia D300” de la marca “Fagerhult”, la cual presenta una potencia de conexión de 20 W, y un flujo luminoso de 2660 lm. Adicionalmente, se selecciona una temperatura de color neutra de 4000 K y un CRI de 80.

Algunas de sus características son:

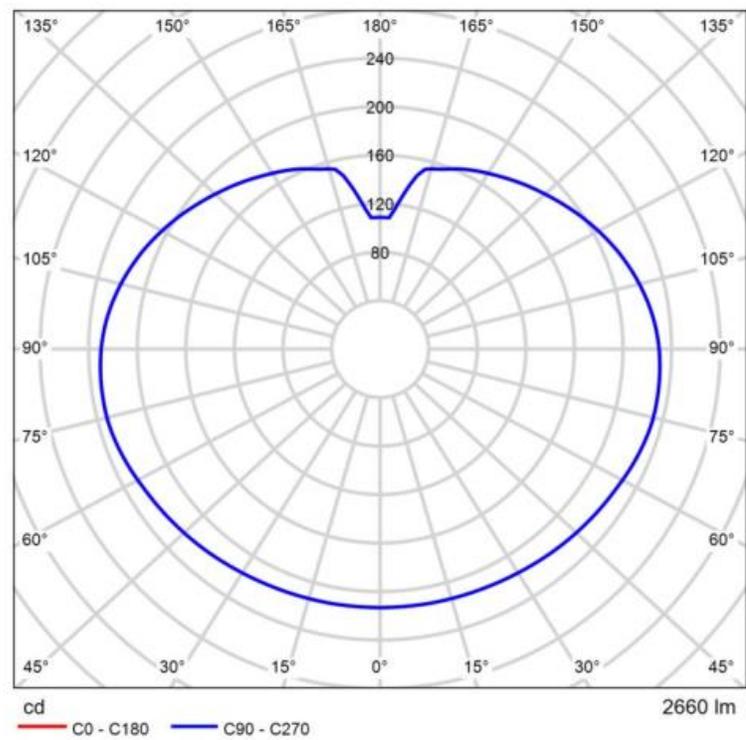
- Eficacia 135 lm/W.
- Vida útil L80 100.000 horas.

- Protección IP21.

**Figura 3-13:** Luminaria tipo Globo marca Fagerhult



**Figura 3-14:** Diagrama polar de la luminaria Globia D300



### 3.3.3 Luminarias para iluminación de emergencia

Para la propuesta de iluminación de emergencia, se optó por luminarias de la marca Zemper, debido a su amplia gama de productos especializados en iluminación de emergencia y variedad de fotometrías para satisfacer las necesidades normativas presentes en cada caso.

Se emplearon las siguientes luminarias:

- **Luminaria Spazio Plus – LSP3255ldpw**

Esta es una luminaria de emergencia compacta que cuenta con dos tipos de ópticas: Una de ellas es de distribución amplia y simétrica, pensada en áreas antipánico, mientras que la segunda óptica cuenta con una distribución más amplia, pensada en uso de vías de evacuación. La fotometría de esta luminaria puede apreciarse en la figura Figura 3-16.

Una característica particular de esta luminaria es que cuenta con un sistema de control inalámbrico que permite realizar un test periódico para verificar el estado de la luminaria y monitorear su estado.

La forma de instalación puede ser empotrado en el techo o de superficie. También se puede adaptar a un sistema de anclaje por medio de varilla roscada y soporte, que permita descolgar la luminaria para que quede fija en la posición deseada.

Cuenta con una batería interna de litio de ferro-fosfato (LFP) con una autonomía de 1 h.

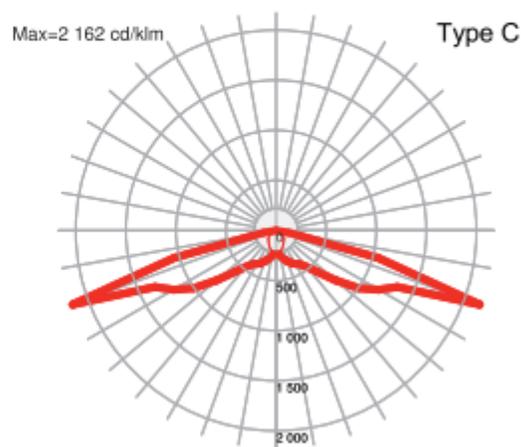
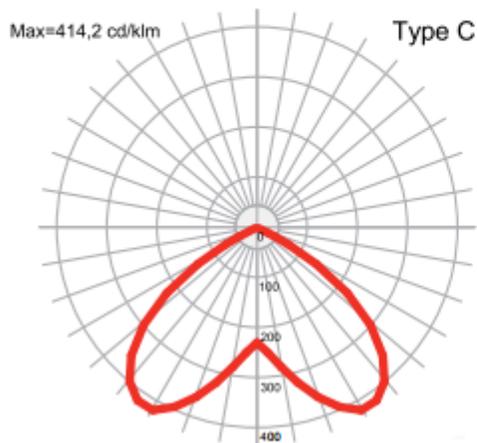
**Figura 3-15:** Luminaria Zemper LSP3522LDPW



**Figura 3-16:** Fotometría de la luminaria LSP3255LDPW

**Lente antipánico**

**Lente pasillo**



- **Aviso luminoso Exitalya – LYE3120LDPW**

Este aviso cuenta con un sistema auto-iluminado y adicionalmente, cuenta con una luminaria incorporada que permite resaltar algunas zonas de énfasis tales como cambios de giro, salidas o sistemas de emergencia.

Una característica particular de esta luminaria es que cuenta con un sistema de control inalámbrico que permite realizar un test periódico para verificar el estado de la luminaria y monitorear su estado.

La forma de instalación puede ser empotrado en el techo o de superficie. También se puede adaptar a un sistema de anclaje por medio de varilla roscada y soporte, que permita descolgar la luminaria para que quede fija en la posición deseada.

Cuenta con una batería interna de litio de ferro-fosfato (LFP) con una autonomía de 1 h.

**Figura 3-17:** Luminaria Zemper LYE3120LDPW



### 3.4 Factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento es un sobredimensionamiento que se realiza al diseño, con el ánimo de garantizar el cumplimiento de los niveles de iluminancia mínimos mantenidos a lo largo de la vida útil del proyecto. Su metodología de cálculo se basa en la norma ISO/CIE TS 22012 de 2019, y está dado por la **Ecuación 3-2**.

**Ecuación 3-2:** Factor de mantenimiento para instalaciones interiores

$$f_m = f_{LF} * f_s * f_{LM} * f_{SM}$$

Donde:

- $f_m$  Es el factor de mantenimiento de la instalación
- $f_{LF}$  Es el factor del flujo luminoso de la luminaria, el cual depende de la depreciación del flujo luminoso de la luminaria.
- $f_s$  Es el factor de supervivencia de la luminaria, el cual depende de la probabilidad de fallo de la luminaria, o alguno de sus componentes.
- $f_{LM}$  Es el factor de mantenimiento de la luminaria, el cual depende del tipo de hermeticidad de la luminaria, el intervalo de limpieza y el tipo de ambiente donde será instalada la luminaria.
- $f_{SM}$  Es el factor de mantenimiento del local, el cual depende de las características reflectivas del techo, paredes y piso, el tipo de espacio (si es muy limpio, limpio, normal o sucio).

Para los cálculos de los factores de mantenimiento para cada una de las áreas seleccionadas para el proyecto, se le asigna un código tanto al área como a la luminaria, con el ánimo de facilitar la presentación de la información. Estos códigos son presentados en la **Tabla 3-5** y la **Tabla 3-6**.

**Tabla 3-5:** Listado y codificación de luminarias

CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	DESCRIPCIÓN
LI-01	Panel Premium VEL0233	VCP Ecolighting	Panel LED rectangular 30x120 cm - 4750 lm - 5000K - 40W
LI-02	NEO-RAY COVERA S930DIP-W240-X4-U5LT-W	COOPER LIGHTING	Luminaria LED 4 ft Directa/Indirecta - 2248 lm - 4000 K - 20 W
LI-03	NEO-RAY DEFINE 2 S122RDP-S485D840-4F0- 1E-UDD-D	COOPER LIGHTING	Luminaria Lineal LED Directa de Descolgar Directa - 1166 lm - TW - 11,6 W
LI-04	Globia LED D300 PMMA	FAGERHULT	Luminaria tipo Globo LED - 2660 lm - 4000 K - 20 W

**Tabla 3-6:** Listado y codificación de áreas

ITEM	CÓDIGO	NOMBRE
1	H-01	SALA DE CAPACITACIONES
2	H-02	OFICINA ABIERTA
3	H-03	CAFETERÍAS

### 3.4.1 Depreciación del flujo luminoso

La depreciación del flujo luminoso es la pérdida de flujo que tiene la luminaria a lo largo de su vida útil, por consecuencia del desgaste natural. Es definido como la tasa de depreciación del flujo luminoso, en relación con el flujo luminoso inicial (CIE, ISO/CIE 22012 Maintenance Factor determination , 2019).

La vida útil de la luminaria la da el fabricante de la luminaria, de acuerdo con las pruebas de TM-21 y LM-80 realizadas a las luminarias. A partir de este reporte, se realiza una proyección de la depreciación, de acuerdo con la vida útil de la instalación que establece el diseñador.

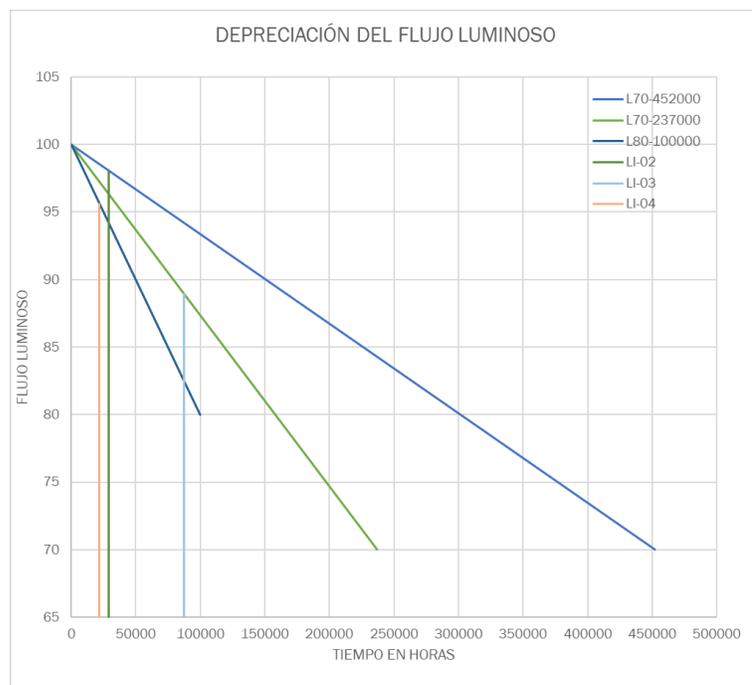
**Tabla 3-7:** Horas de uso diario de la instalación y tiempo a recambio

Espacio	Horas de Uso Diario	Años a Recambio	Total Horas en Uso
Sala de Capacitación	8	5	14600
Producción	24	3	26280
Cafetería	8	4	11680

**Figura 3-18:** Depreciación de flujo luminoso para luminaria del diseño convencional



**Figura 3-19:** Depreciación del flujo luminoso de las luminarias del diseño de iluminación integradora



### 3.4.2 Factor de ensuciamiento de la superficie

Los factores de ensuciamiento de la superficie están definidos en el anexo D de la norma ISO/CIE 22012

**Tabla 3-8:** Cálculo del factor de ensuciamiento de la superficie

ESPACIO						
CÓDIGO	TIPO DE AMBIENTE	REFLECTANCIA			INTERVALO DE LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE	F. E. DE LA SUPERFICIE
		TECHO	MURO	SUELO		
H-01	Limpio	0,50	0,70	0,20	1,0	0,94
H-02	Limpio	0,50	0,70	0,20	1,0	0,94
H-03	Normal	0,50	0,70	0,20	1,0	0,89
H-01	Limpio	0,50	0,70	0,20	1,0	0,91
H-02	Limpio	0,50	0,70	0,20	1,0	0,94
H-03	Normal	0,50	0,70	0,20	1,0	0,89

### 3.4.3 Factor de ensuciamiento de la luminaria

Los factores de ensuciamiento de las luminarias están definidos en el anexo C de la norma ISO/CIE 22012.

**Tabla 3-9:** Cálculo del factor de mantenimiento de la luminaria

ESPACIO		LUMINARIA				
CÓDIGO	TIPO DE AMBIENTE	REFERENCIA	TIPO DE LUMINARIA	INTERVALO DE LIMPIEZA DE LA LUMINARIA		F.M. DE LA LUMINARIA
				SELECCIONADO	RECOMENDADO	
H-01	Limpio	LI-01	D	1,0	2,0	0,88
H-02	Limpio	LI-01	D	1,0	2,0	0,88
H-03	Normal	LI-01	D	1,0	1,0	0,82
H-01	Limpio	LI-02	D	1,0	2,0	0,88
H-02	Limpio	LI-03	D	1,0	2,0	0,88
H-03	Normal	LI-04	D	1,0	1,0	0,82

### 3.4.4 Factor de supervivencia

Dadas las características que tiene la instalación, en caso de que alguna luminaria falle, se deberá realizar el reemplazo inmediatamente de la luminaria, de forma tal que no se vea interrumpido los procesos que allí se desarrollan, y no se generen afectaciones a los trabajadores. Debido esto, se considera que el factor de supervivencia para los diferentes espacios contenidos en el proyecto será de 1,0.

### 3.4.5 Cálculo del factor de mantenimiento

Consolidando la información de los numerales 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4, se procede a calcular el factor de mantenimiento para los diferentes escenarios planteados, tal como se muestra en la **Tabla 3-10**.

**Tabla 3-10.** Cálculo del Factor de Mantenimiento

ESPACIO		LUMINARIA				FACTOR DE MANTENIMIENTO
CÓDIGO	F. E. DE LA SUPERFICIE	REFERENCIA	FACTOR DE FLUJO LUMINOSO	F.M. DE LA LUMINARIA	FACTOR DE SUPERVIVENCIA	
H-01	0,94	LI-01	0,94	0,88	1,00	0,78
H-02	0,94	LI-01	0,89	0,88	1,00	0,74
H-03	0,89	LI-01	0,95	0,82	1,00	0,70
H-01	0,91	LI-02	0,98	0,88	1,00	0,79
H-02	0,94	LI-03	0,89	0,88	1,00	0,74
H-03	0,89	LI-04	0,96	0,82	1,00	0,70

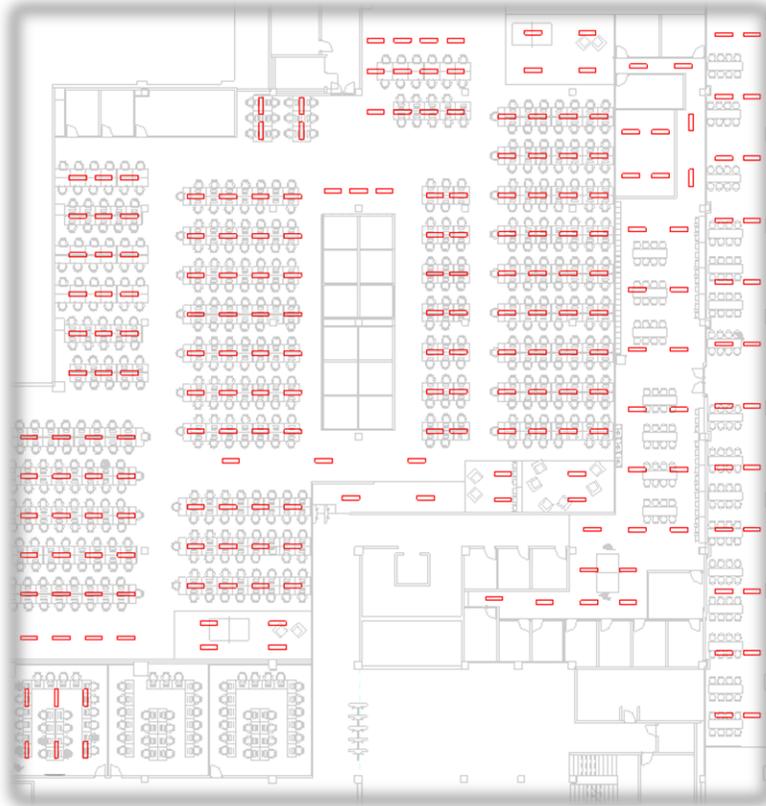
## 3.5 Propuesta de iluminación convencional

La propuesta de iluminación convencional hace referencia al modelo que se suele emplear comúnmente para la propuesta de un diseño de iluminación para un espacio, considerando únicamente los requisitos visuales y normativos establecidos para un área en particular, sin tener especial cuidado con los efectos no visuales que produce la iluminación en las personas.

Con las luminarias seleccionadas en el numeral 3.3.1, se propone la instalación de los paneles descolgados en el espacio, a una altura de instalación de 3,00 m, y su distribución

se realiza de forma tal que se cumpla con los requisitos normativos presentados en el numeral 2.4

**Figura 3-20.** Distribución de luminarias en propuesta de iluminación convencional



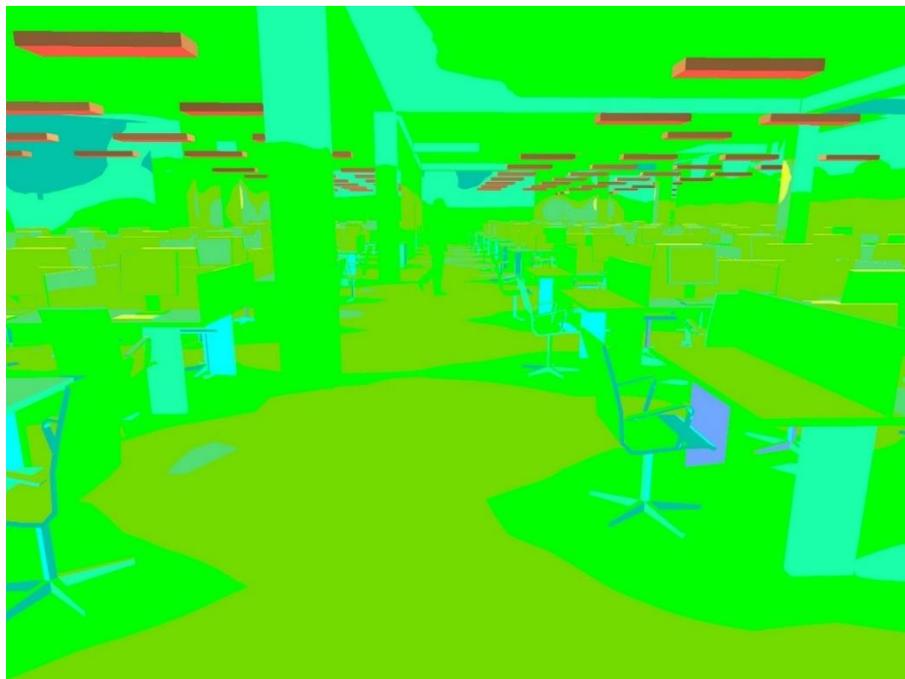
Con esta distribución de luminarias, se procede a realizar la simulación del sistema de iluminación con ayuda de la herramienta Dialux EVO. De la **Figura 3-21** a la **Figura 3-28** se pueden observar las capturas de la evaluación realizada en el software, junto con la vista en colores falsos de los niveles de iluminancia obtenidos para las diferentes áreas.

En la **Tabla 3-11**, **Tabla 3-12** y **Tabla 3-13**, se pueden apreciar los resultados obtenidos en las diferentes áreas y subáreas planteadas en el numeral 3.1, dando cumplimiento a los requisitos generales planteados en el numeral 2.4.2.

**Figura 3-21:** Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la oficina abierta



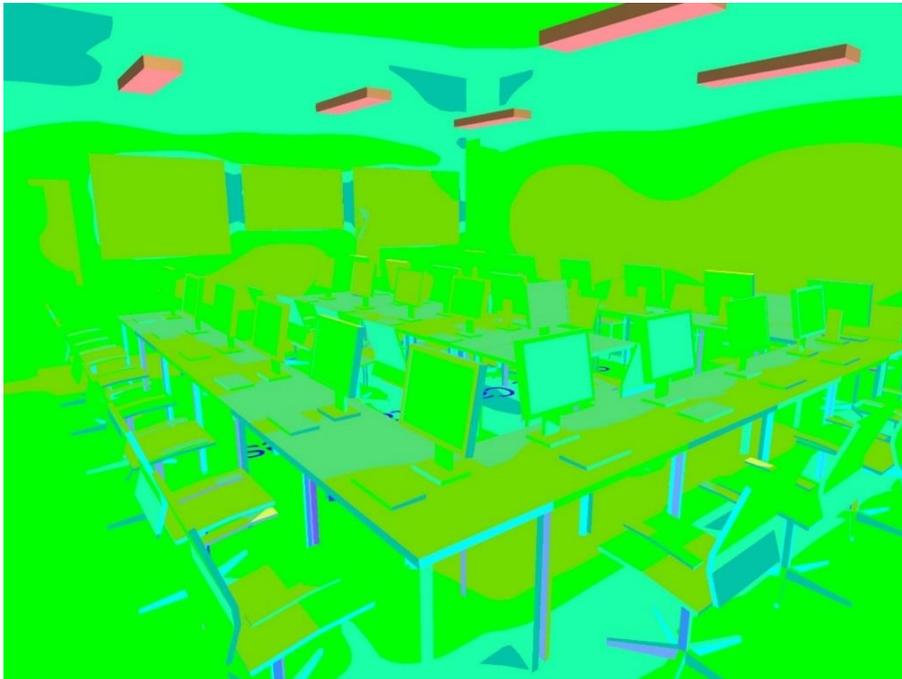
**Figura 3-22:** Vista en colores falsos del cálculo de iluminancias en la oficina abierta



**Figura 3-23:** Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la Sala de Capacitación



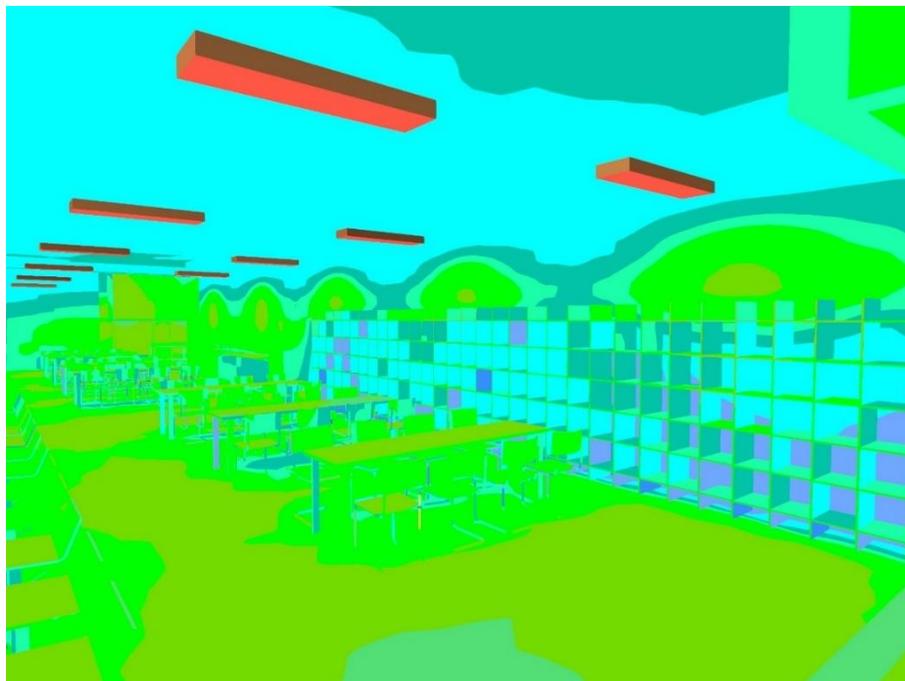
**Figura 3-24:** Vista en colores falsos del cálculo de iluminancia en la sala de capacitación

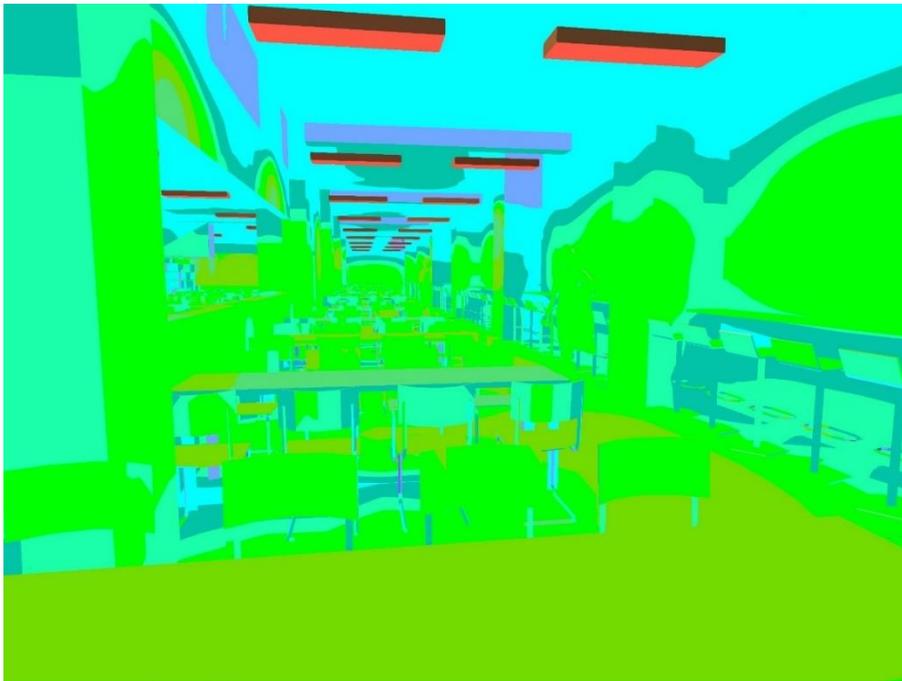


**Figura 3-25:** Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la cafetería 1



**Figura 3-26:** Vista en colores falsos del cálculo de iluminancia en la cafetería 1



**Figura 3-27:** Cálculos fotométricos usando el software Dialux Evo para la cafetería 2**Figura 3-28:** Vista en colores falsos del cálculo de iluminancia en la cafetería 2

**Tabla 3-11:** Resultados de evaluación fotométrica del diseño de iluminación convencional en la oficina abierta

<b>OFICINA ABIERTA</b>					
<b>Superficie de Cálculo</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>Emax</b>	<b>g1</b>	<b>g2</b>
Espacio de Trabajo 1	509	373	622	0,73	0,60
Espacio de Trabajo 2	515	347	616	0,67	0,56
Espacio de Trabajo 3	550	387	703	0,70	0,55
Espacio de Trabajo 4	537	427	637	0,80	0,67
Espacio de Trabajo 5	554	464	659	0,84	0,70
Espacio de Trabajo 6	573	455	658	0,79	0,69
Espacio de Trabajo 7	608	420	743	0,69	0,57
Espacio de Trabajo 8	516	410	600	0,79	0,68
Espacio de Trabajo 9	510	407	578	0,80	0,70
Leisure 1	304	201	377	0,66	0,53
Leisure 2	305	193	374	0,63	0,52
Leisure 3	344	228	423	0,66	0,54

**Tabla 3-12:** Resultados de evaluación fotométrica del diseño de iluminación convencional en la sala de capacitación

<b>SALA DE CAPACITACIÓN</b>					
<b>Superficie de Cálculo</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>Emax</b>	<b>g1</b>	<b>g2</b>
Área de tarea visual 1	406	324	466	0,80	0,70
Área de tarea visual 2	377	339	419	0,90	0,81
Área de tarea visual 3	395	312	458	0,79	0,68
Área de tarea visual 4	454	394	506	0,87	0,78

**Tabla 3-13:** Resultados de evaluación fotométrica del diseño de iluminación convencional en las cafeterías

<b>CAFETERÍA</b>					
<b>Superficie de Cálculo</b>	<b>Em</b>	<b>Emin</b>	<b>Emax</b>	<b>g1</b>	<b>g2</b>
Cafetería 1	263	198	334	0,75	0,59
Cafetería 2	264	218	321	0,83	0,68

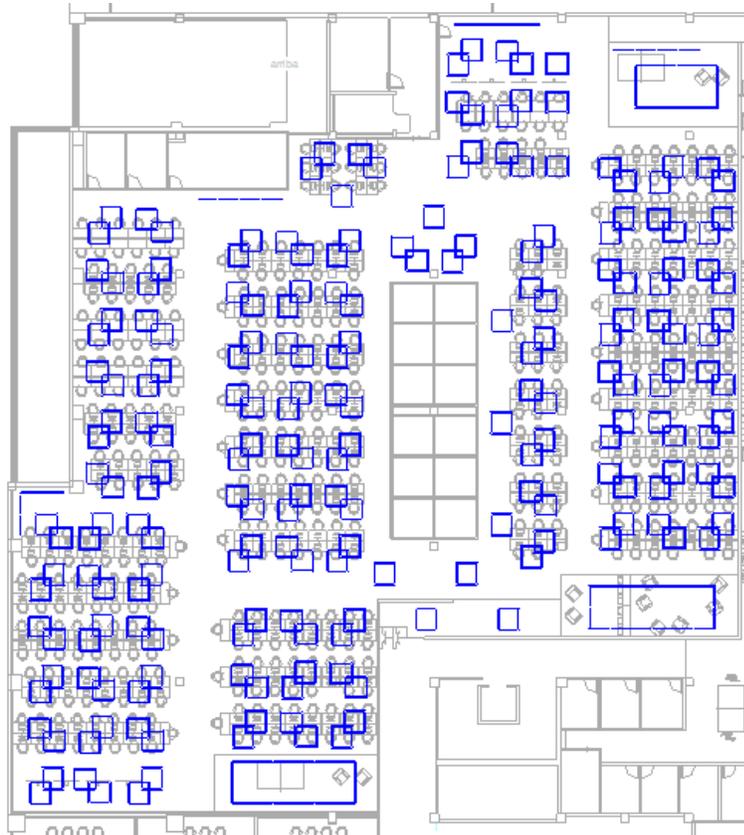
## 3.6 Propuesta de iluminación integradora

### 3.6.1 Oficina Abierta

Para la propuesta de iluminación integradora en para la oficina abierta, se siguen los pasos establecidos en la norma UL DG 24480, tal como se mostró en el numeral 2.4.3. La selección de la luminaria junto con su espectro fue realizada en el numeral 3.3.2, y se realizará la validación fotométrica y circadiana con esta.

Para este diseño, se busca tener una distribución de luminarias diferente a lo que normalmente se puede encontrar, rompiendo la monotonía que pueda llegar a presentar el ambiente, por lo que se propone un juego con figuras geométricas en el espacio, más específicamente con una distribución de cuadrados sobrepuestos, como se muestra en la **Figura 3-29**.

**Figura 3-29** Distribución de luminarias en oficina abierta para propuesta de iluminación integradora

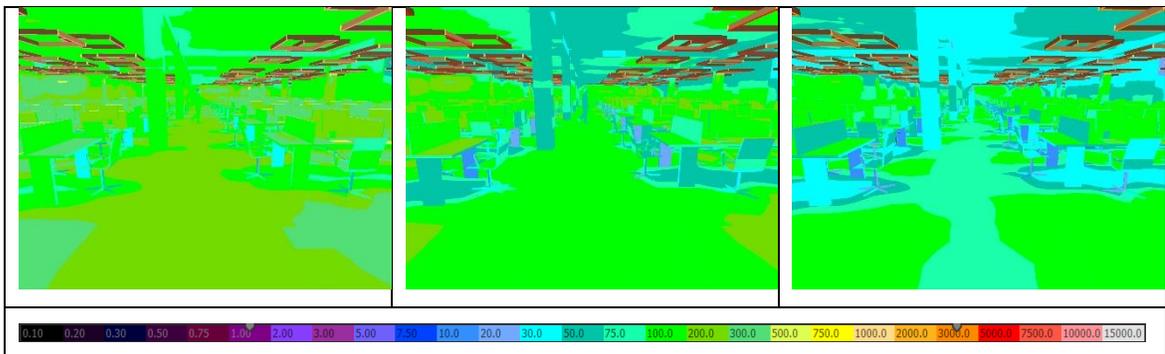


Se realizará una validación de la iluminancia en el espacio con ayuda del software Dialux EVO, encontrando los niveles de iluminancia vertical para algunos puntos de cálculo en puestos de trabajo distribuidos aleatoriamente, y así mismo, se hará la validación para diferentes temperaturas de color, con el ánimo de realizar la evaluación posterior de la luz y estímulo circadianos para estos puestos de trabajo.

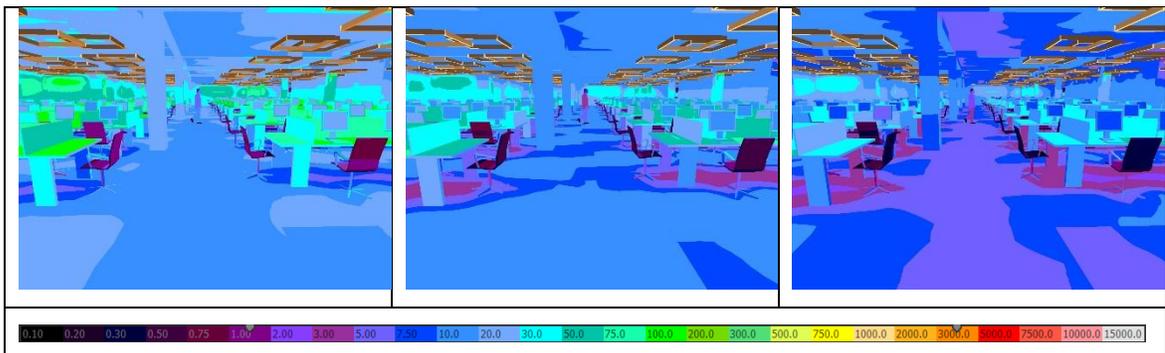
**Figura 3-30** Evaluación de iluminación integradora de la oficina abierta en Dialux Evo. A la izquierda, se tiene CCT de 6500 K y dimerización al 100%, al centro CCT de 4000 K y dimerización de 60% y a la derecha CCT de 3500K y dimerización del 40%



**Figura 3-31** Colores falsos mostrando la iluminancia del espacio para la evaluación de la oficina abierta.



**Figura 3-32** Colores falsos mostrando la luminancia del espacio para la evaluación de la oficina abierta.



**Tabla 3-14:** Resultados fotométricos para la iluminación integradora de la oficina abierta

OFICINA ABIERTA						
Superficie de Cálculo	Em	Emin	E <sub>max</sub>	Ev	g1	g2
Espacio de Trabajo 1	645	436	816	362	0,68	0,53
Espacio de Trabajo 2	630	431	767	343	0,68	0,56
Espacio de Trabajo 3	599	401	725	386	0,67	0,55
Espacio de Trabajo 4	653	510	775	406	0,78	0,66
Espacio de Trabajo 5	554	428	681	345	0,77	0,63
Espacio de Trabajo 6	669	566	778	365	0,85	0,73
Espacio de Trabajo 7	596	357	735	380	0,60	0,49
Espacio de Trabajo 8	587	392	683	376	0,67	0,57
Espacio de Trabajo 9	598	474	663	346	0,79	0,71
Leisure 1	291	172	360	N/C	0,59	0,48
Leisure 2	277	182	342	N/C	0,66	0,53
Leisure 3	367	226	513	N/C	0,62	0,44

La **Tabla 3-14** muestra los resultados de los máximos niveles de iluminación que se pueden obtener en los diferentes espacios de trabajado presentes en la oficina abierta, utilizando la dimerización al 100% del flujo nominal de las luminarias, así como una temperatura de color de 6500 K, que es la temperatura a la cual se tiene una mayor eficacia. Estos valores brindarán los puntos máximos de partida para el diseño de iluminación circadiano, puesto que, a partir de allí, se puede emplear una estrategia de dimerización y ajuste de temperatura de color para obtener estímulos circadianos menores.

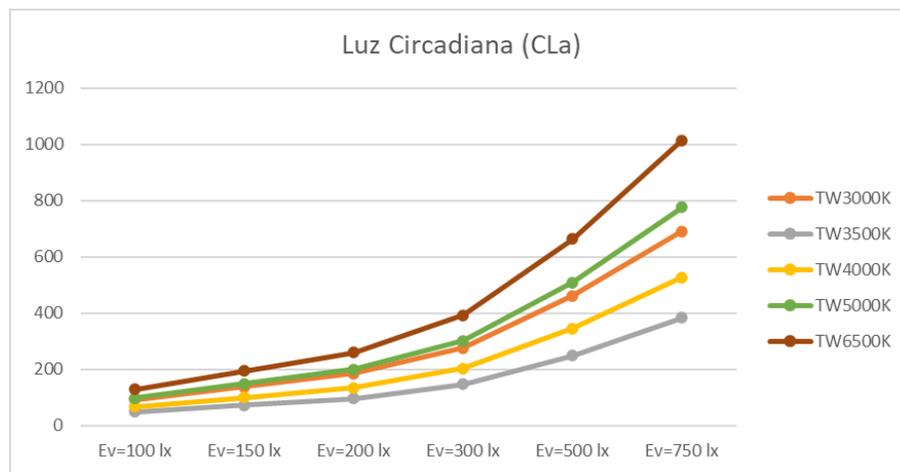
Con el espectro conocido de la luminaria empleada en la oficina abierta, el cual es mostrado en el numeral 3.3.2, en conjunto con las iluminancias verticales calculados y mostrados en la **Tabla 3-14**, se emplea la herramienta “CS Calculator”<sup>15</sup> desarrollada por el “Lighting Research Center”, y se procede a determinar la luz y el estímulo circadianos para diferentes configuraciones posibles, tal como se muestra en la **Tabla 3-15**.

<sup>15</sup> CS Calculator disponible en: <http://www.lrc.rpi.edu/cscalculator>

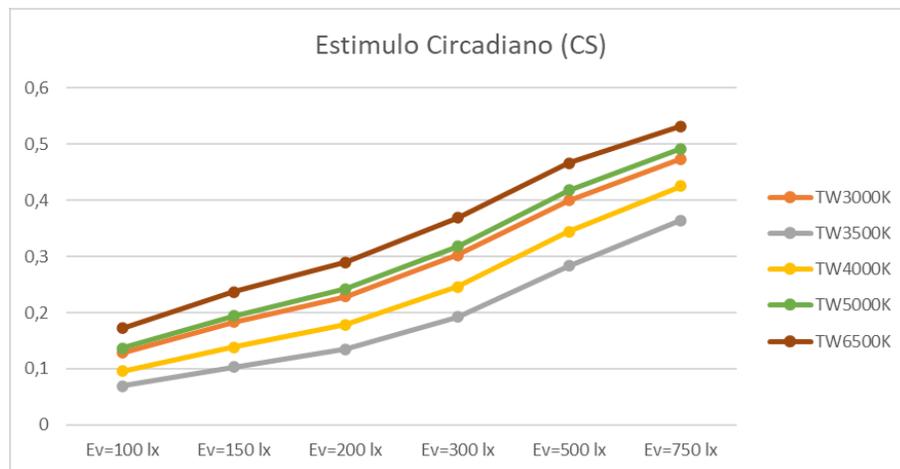
**Tabla 3-15:** Resultados de evaluación de luz y estímulo circadianos para diferentes CCT y Ev

	Ev=100 lx		Ev=150 lx		Ev=200 lx		Ev=300 lx		Ev=500 lx	
	CLa	CS	CLa	CS	CLa	CS	CLa	CS	CLa	CS
TW2700K	80,1	0,113	120,15	0,162	160,2100	0,2050	240,3100	0,2750	400,5100	0,3730
TW3000K	92,27	0,129	138,41	0,183	184,5400	0,2290	276,8100	0,3020	461,3500	0,4000
TW3500K	48,07	0,069	72,47	0,103	97,1000	0,1350	147,0800	0,1920	249,8200	0,2830
TW4000K	66,73	0,096	100,54	0,139	134,6300	0,1790	203,6800	0,2460	345,1500	0,3440
TW4500K	84,17	0,119	126,77	0,170	169,7200	0,2150	256,6100	0,2880	434,3800	0,3880
TW5000K	98,76	0,137	148,72	0,194	199,0800	0,2420	300,9300	0,3180	509,1600	0,4180
TW5500K	110,14	0,151	165,86	0,211	222,0100	0,2610	335,5600	0,3390	567,6200	0,4380
TW5700K	114,72	0,156	172,76	0,218	231,2400	0,2680	349,5000	0,3470	591,1500	0,4460
TW6500K	128,98	0,172	194,22	0,237	259,9500	0,2900	392,8700	0,3690	664,4200	0,4660

**Figura 3-33:** Luz circadiana calculada para diferentes configuraciones de iluminancia vertical y CCT



**Figura 3-34:** Estímulo circadiano calculada para diferentes configuraciones de iluminancia vertical y CCT



De la **Tabla 3-15** y la **Figura 3-34**, se puede apreciar que para obtener cada estímulo circadiano establecido en el criterio de iluminación circadiana presentado en la **Tabla 2-4**, se puede tomar diversas configuraciones de iluminación, y con base en esto, establecer diferentes estrategias de control para alcanzar el estímulo circadiano deseado. Por ejemplo, se podría mantener fija la temperatura de color y variar la iluminancia, variar la temperatura de color y mantener fija la iluminancia, o realizar una variación en ambos parámetros. Para este proyecto, se optó por realizar una variación de ambos parámetros, tratando de mantener un balance entre los niveles de iluminancia establecidos en la NTC6519 para espacios de trabajo, así como conseguir el estímulo circadiano deseado.

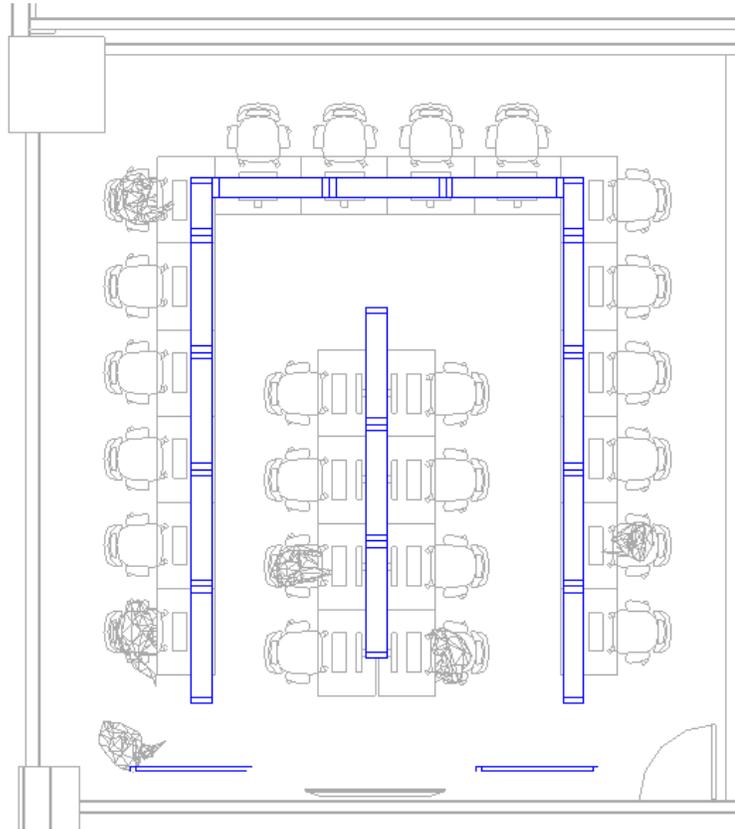
**Tabla 3-16:** Estrategia seleccionada para el cumplimiento del criterio de iluminación circadiana.

RANGO HORARIO	ESTÍMULO CIRCADIANO	ILUMINANCIA HORIZONTAL PROMEDIO [lx]	ILUMINANCIA VERTICAL PROMEDIO [lx]	CCT
7:00 am – 4:00 pm	0,37 (> 0,30)	500	300	6500 K
4:00 pm – 5:00 pm	Transición	Transición	Transición	Transición
5:00 pm – 7:00 pm	0,18 (< 0,20)	300	200	4000 K
7:00 pm – 8:00 pm	Transición	Transición	Transición	Transición
8:00 pm en adelante	0,10 (< 0,10)	200	150	3500 K

### 3.6.2 Sala de capacitación

Para la propuesta de iluminación alternativa de la sala de capacitación, al ser un espacio de poco uso a lo largo del día por las mismas personas, se buscará tener un mejor confort visual para las personas que hagan uso de este espacio. Se emplearán las luminarias seleccionadas en el numeral 3.3.2, ubicándolas principalmente sobre las zonas de trabajo. Adicionalmente, se emplearán luminarias asimétricas sobre el tablero, de forma tal que se resalte más esta zona en el salón.

**Figura 3-35** Disposición de luminarias en la sala de capacitación para la propuesta de iluminación alternativa



Una vez definida la ubicación de las luminarias, se realiza la evaluación fotométrica en el software Dialux EVO

**Figura 3-36:** Render de la sala de capacitación, con la propuesta de iluminación integradora.



**Figura 3-37:** Colores falsos de la iluminancia de la sala de capacitaciones, utilizando la propuesta de iluminación integradora.



**Figura 3-38:** Colores falsos de la luminancia de la sala de capacitaciones, utilizando la propuesta de iluminación integradora.



El uso de colores falsos permite realizar una evaluación aproximada del comportamiento de la iluminación en el espacio bajo análisis. Para el caso de la iluminación propuesta para la sala de capacitaciones, de la **Figura 3-38** se puede evidenciar que los niveles de luminancia en el campo visual son muy uniformes, presentando un realce de los tableros

y se evitan puntos calientes que puedan contribuir significativamente en el deslumbramiento y el discomfort visual.

**Tabla 3-17:** Resultados fotométricos para la iluminación integradora de la sala de capacitación

SALA DE CAPACITACIÓN					
Superficie de Cálculo	Em	Emin	Emax	g1	g2
Área de tarea visual 1	344	297	382	0,86	0,78
Área de tarea visual 2	367	334	387	0,91	0,86
Área de tarea visual 3	340	301	372	0,89	0,81
Área de tarea visual 4	382	317	414	0,83	0,77

### 3.6.3 Cafeterías

Para la iluminación de las cafeterías, se parte del diseño conceptual presentado en el numeral 3.3.2, así como las luminarias seleccionadas. Las luminarias se ubicarán de una forma aleatoria en el espacio, así como a diferentes alturas para buscar cumplir con dicha propuesta conceptual, tal como se muestra en la **Figura 3-39**.

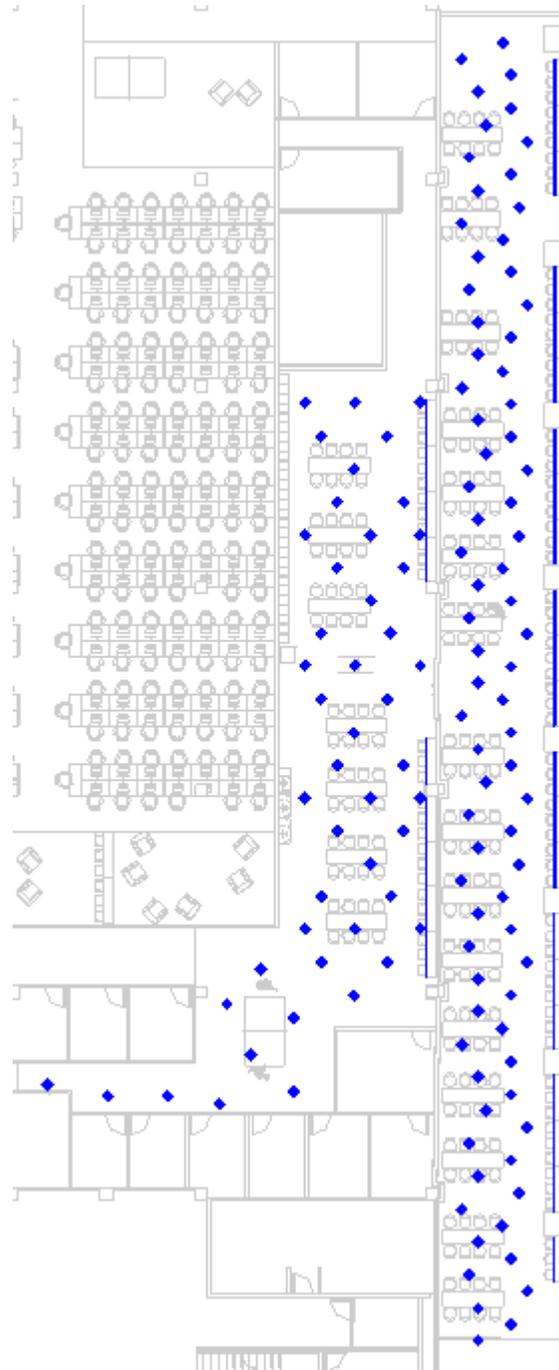
Ya con la ubicación de las luminarias definida, se realiza el montaje en dialux EVO para realizar la validación fotométrica de la instalación, tal como se muestra en la **Figura 3-40** a la **Figura 3-42**.

Dado que inicialmente los resultados en los niveles de iluminancia son muy altos, y no se contaba con potencias de luminarias menores, se optó por realizar la dimerización de las luminarias Globia al 70%. Otra alternativa podría ser el seleccionar una luminaria que físicamente fuera igual, pero con un flujo de 1860 lm.

Adicionalmente, se emplearon cintas LED instaladas por debajo de las barras laterales de la cafetería, para complementar la atmósfera deseada.

Los niveles de iluminancia obtenidos se pueden observar en la **Tabla 3-18**, cumpliendo con los niveles de iluminancia medios mínimos establecidos para estos espacios.

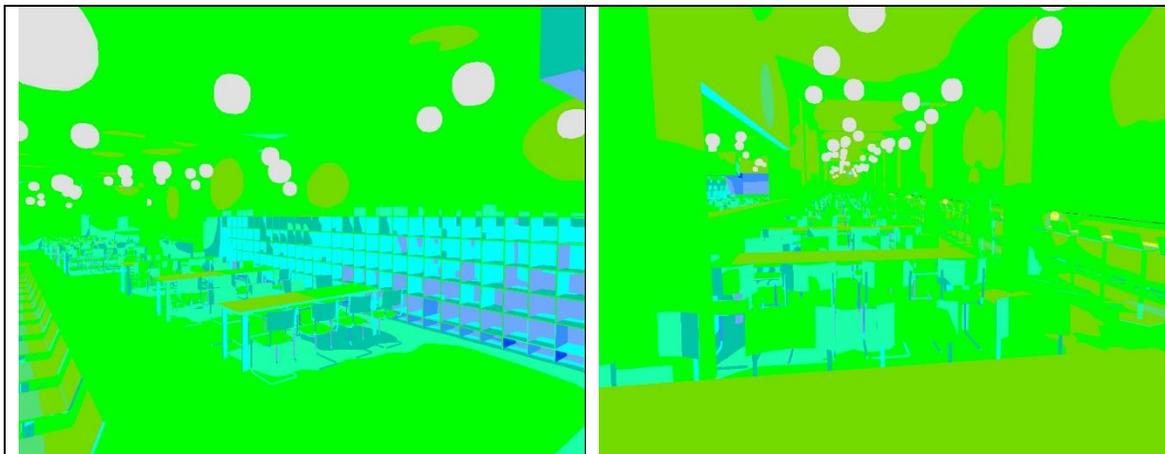
**Figura 3-39:** Distribución de luminarias para la propuesta de iluminación integradora en la cafetería



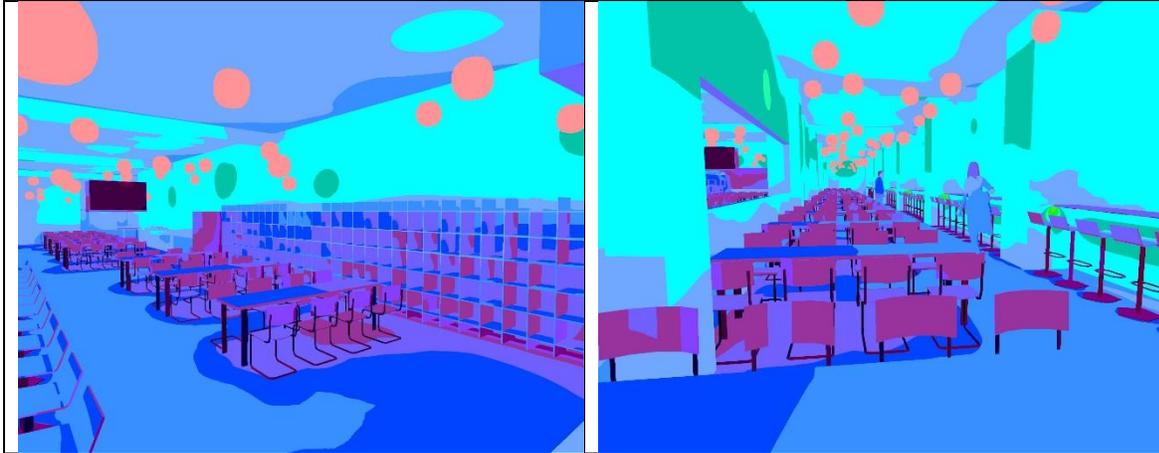
**Figura 3-40:** Evaluación de iluminación en la cafetería para la propuesta de iluminación integradora.



**Figura 3-41:** Colores falsos de la iluminancia en la cafetería con la propuesta de iluminación integradora.



**Figura 3-42:** Colores falsos de la luminancia en la cafetería con la propuesta de iluminación integradora.



**Tabla 3-18:** Resultados fotométricos para la iluminación integradora de las cafeterías

CAFETERÍA					
Superficie de Cálculo	Em	Emin	Emax	g1	g2
Cafetería 1	225	174	378	0,77	0,46
Cafetería 2	250	183	299	0,73	0,61

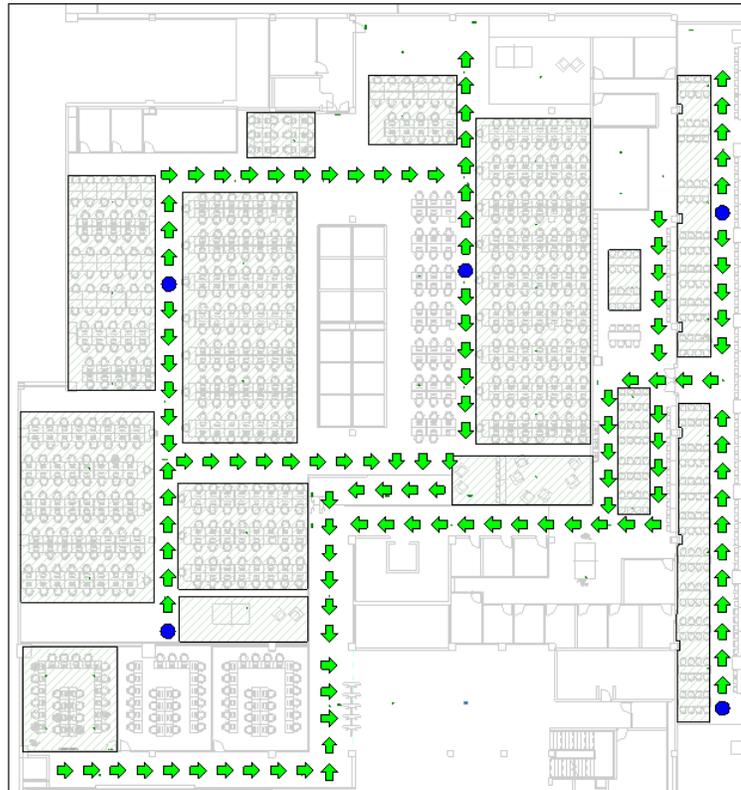
### 3.7 Iluminación de emergencia

Dado que no se cuenta con un análisis de seguridad humana para establecer las rutas de seguridad y dar un precedente para el diseño de iluminación de emergencia, se tomará por criterio propio del diseñador, las posibles rutas de emergencia y clasificación de espacios que se tendrán para las áreas de diseño seleccionadas.

Entendiendo los conceptos iniciales planteados en el numeral 2.4.4, para las instalaciones del contact center se propondrá una iluminación antipánico en las tres áreas seleccionadas, puesto que se contará con un gran número de personas que pueden ocupar el espacio y el área es mayor a 60 m<sup>2</sup>, por lo que se ve justificado el uso de este tipo de iluminación para el espacio. Adicionalmente, en zonas de cambios de dirección, y en puntos donde se evidencia que es necesario, se deberá realizar la instalación de señalética que lleve correctamente a las salidas de emergencia dispuestas para la instalación.

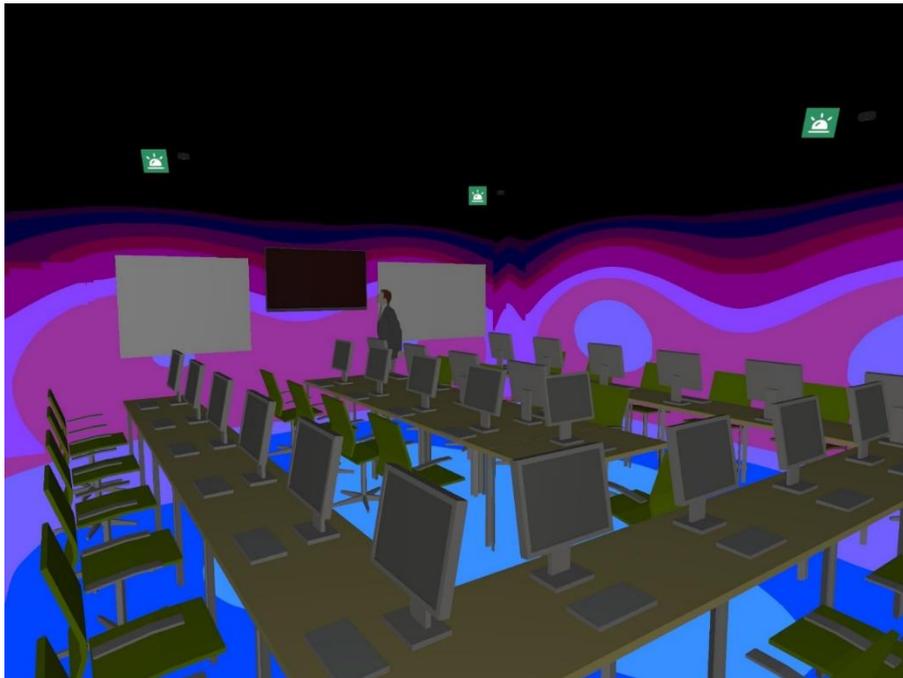
Con estas consideraciones iniciales, se realiza el planteamiento de rutas de evacuación y zonas antipánico, tal como se muestra en la **Figura 3-43**.

**Figura 3-43:** Rutas de Evacuación y zonas antipánico



Se dispondrá entonces las luminarias seleccionadas en el numeral 3.3.3, de forma tal que se dé cumplimiento a los niveles de iluminación requeridos por la norma, y se generen rutas de evacuación claramente identificables. La ubicación de la señalética se realizará en los cambios de giro y en puntos de la instalación que se consideren críticos. Usualmente la ubicación de la señalética debe estar conforme al estudio de seguridad humana cuando se dispone de dicho estudio.

Nuevamente, la evaluación de los niveles de iluminación se realiza por medio del software Dialux EVO, tal como se muestra en la **Figura 3-44**, la **Figura 3-45** y la **Figura 3-46**.

**Figura 3-44:** Iluminación de emergencia en la oficina abierta**Figura 3-45:** Colores falsos de iluminancia de la iluminación de emergencia en la sala de capacitación

**Figura 3-46:** Iluminación de emergencia en la cafetería



## **3.8 Sistema de control**

Es importante definir el diseño de control para las diferentes áreas con las que contará el proyecto, debido a que de este dependerá los ahorros energéticos que se puedan llegar a tener, así como la variación de las características de las luminarias, en caso tal de requerirse. A continuación, se hará mención a las estrategias planteadas para cada caso.

### **3.8.1 Iluminación convencional**

Las luminarias seleccionadas para el diseño de iluminación convencional no cuentan con opción de dimerización, por lo que no se podrá disponer de esta característica. En este caso, se deberá realizar un control ON/OFF por áreas con sensores de ocupación o vacancia.

### **3.8.2 Iluminación integradora**

Para el caso de la iluminación integradora, se requiere un control más avanzado compatible con las luminarias seleccionadas. En el caso de la sala de capacitaciones, el control será por medio de un sensor de vacancia, en conjunto con interruptor manual y control por zonas para el tablero y el espacio general.

En la cafetería, se propone dividir las áreas, y emplear dimerización para disminuir los niveles de iluminación en horas que no sean críticas, y aumentar los niveles de iluminación en aquellas horas donde hay mayor permanencia de personas. Adicionalmente, se deberá utilizar sensores de ocupación.

Finalmente para la oficina abierta, se manejará un control por cada una de las áreas propuestas, con sensores de ocupación. Adicionalmente, se requiere un sistema de control 0-10V compatible con el driver de la luminaria, de forma tal que se controle tanto la dimerización de la luminaria, como la temperatura de color según la hora del día para conseguir el estímulo circadiano adecuado.

La especificación exacta de los equipos no se considera como parte del alcance del presente proyecto. Sin embargo, es importante resaltar la necesidad de un sistema de control adecuado para conseguir ahorros energéticos en la instalación, así como las características de iluminación necesaria para el área de diseño.

## 4. Análisis económico

Con base en las propuestas presentadas en los numerales 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3, se toman las cantidades de luminarias necesarias, y asumiendo que se requiere de una instalación eléctrica nueva, se realiza una propuesta económica para el costo inicial de la instalación del sistema de iluminación tanto convencional como integradora, como se muestra en la **Tabla 4-5** y la **Tabla 4-10**.

Una vez establecido el costo inicial de la instalación, se da un estimado del costo de mantenimiento de la instalación y de reposición de equipos, tal como se muestra en la **Tabla 4-11** y la **Tabla 4-12**, y con de acuerdo con el intervalo de mantenimiento y recambio establecido en el cálculo de factor de mantenimiento en el numeral 3.4, se realiza un flujo de caja para el tiempo de vida de la instalación, tomando el mismo intervalo de tiempo, que para este caso será de 10 años.

**Tabla 4-1:** Consumo energético de la oficina abierta con el diseño de iluminación convencional

OFICINA ABIERTA						
Área	LUMINARIAS			Horas Uso		Consumo Total [kWh/año]
	Cantidad	Potencia [W]	Potencia Total [W]	Día	Año	
Área 1	24	40	960	24	8760	8409,6
Área 2	12	40	480	24	8760	4204,8
Área 3	18	40	720	24	8760	6307,2
Área 4	28	40	1120	24	8760	9811,2
Área 5	14	40	560	24	8760	4905,6
Área 6	36	40	1440	24	8760	12614,4
Área 7	3	40	120	24	8760	1051,2
Área 8	4	40	160	24	8760	1401,6
Área 9	12	40	480	24	8760	4204,8
Circulación	5	40	200	24	8760	1752
Leisure 1	4	40	160	24	8760	1401,6
Leisure 2	4	40	160	24	8760	1401,6
Leisure 3	4	40	160	24	8760	1401,6
<b>CONSUMO TOTAL</b>						58867,2

**Tabla 4-2:** Consumo energético de la sala de capacitación con el diseño de iluminación convencional

SALA DE CAPACITACIÓN						
Área	LUMINARIAS			Horas Uso		Consumo Total [kWh/año]
	Cantidad	Potencia [W]	Potencia Total [W]	Día	Año	
Área 1	6	40	240	8	2920	700,8
<b>CONSUMO TOTAL</b>						700,8

**Tabla 4-3:** Consumo energético de la cafetería con el diseño de iluminación convencional

CAFETERÍAS						
Área	LUMINARIAS			Horas Uso		Consumo Total [kWh/año]
	Cantidad	Potencia [W]	Potencia Total [W]	Día	Año	
CAF 1 - 1	4	40	160	8	2920	467,2
CAF 1 - 2	4	40	160	8	2920	467,2
CAF 1 - 3	6	40	240	8	2920	700,8
CAF 1 - 4	6	40	240	8	2920	700,8
DESC.	7	40	280	8	2920	817,6
CAF 2 - 1	6	40	240	8	2920	700,8
CAF 2 - 2	6	40	240	8	2920	700,8
CAF 2 - 3	6	40	240	8	2920	700,8
CAF 2 - 4	6	40	240	8	2920	700,8
<b>CONSUMO TOTAL</b>						5256

**Tabla 4-4:** Consumo energético total anual de la propuesta de iluminación convencional

<b>CONSUMO TOTAL</b> [kWh/año]	64824
-----------------------------------	-------

**Tabla 4-5:** Propuesta económica para la iluminación convencional

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial (COP \$)
<b>01</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				
<b>01.01</b>	<b>TABLEROS DE AUTOMÁTICOS PARA ALUMBRADO GENERAL</b>				
01.01.01	Suministro e instalación de tablero de protecciones TDN ZC1 de 30 circuitos TRIFÁSICO con puerta y chapa, espacio para totalizador y barraje según diagrama unifilar. Incluye protecciones.	UND	1	\$ 4.184.329,23	\$ 4.184.329,23
01.01.02	Suministro e instalación de tablero de control de iluminación convencional.	UND	1	\$ 13.380.101,63	\$ 13.380.101,63
<b>01.02</b>	<b>SALIDAS PARA ILUMINACIÓN CONVENCIONAL</b>				
01.02.01	Suministro e instalación de LUMINARIA VCP Ref: VEL0233	UND	224	\$ 707.566,64	\$ 158.494.926,74
01.02.02	Suministro e instalación de Sensor de movimiento	UND	10	\$ 1.153.102,78	\$ 11.531.027,81
01.02.03	Suministro e instalación de Interruptor Manual	UND	10	\$ 248.090,28	\$ 2.480.902,81
<b>01.03</b>	<b>SALIDAS PARA ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA</b>				
01.03.01	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS STAND-ALONE ANTIPÁNICO, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	21	\$ 598.133,94	\$ 12.560.812,70
01.03.02	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS STAND-ALONE PASILLOS, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	26	\$ 598.133,94	\$ 15.551.482,39
01.03.03	Suministro e instalación de AVISO LUMINOSO MARCA ZEMPER REF EXTALYA STAND-ALONE, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	19	\$ 1.231.812,18	\$ 23.404.431,38
<b>01.04</b>	<b>CERTIFICACIONES</b>				
01.04.01	Certificación RETIE	GI	1	\$ 6.000.000,00	\$ 6.000.000,00
01.04.02	Certificación RETILAP	GI	1	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000,00

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 255.588.014,69</b>
ADMINISTRACIÓN (6%)	\$ 15.335.280,88
IMPREVISTOS (2%)	\$ 5.111.760,29
UTILIDADES (7%)	\$ 17.891.161,03
IVA SOBRE UTILIDAD (19%)	\$ 3.399.320,60
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 297.325.537,49</b>

**Tabla 4-6:** Consumo energético de la oficina abierta con el diseño de iluminación integradora

OFICINA ABIERTA								
Área	LUMINARIAS				Potencia Total [W]	Horas Uso		Consumo Total [kWh/año]
	Cantidad	Potencia [W]	Dimerizacion	Potencia Parcial [W]		Día	Año	
Área 1	146	11,6	100%	1693,6	3387,2	9	3285	5563,476
			60%	1016,16		3	1095	1112,6952
			40%	677,44		12	4380	2967,1872
Área 2	72	11,6	100%	835,2	1670,4	9	3285	2743,632
			60%	501,12		3	1095	548,7264
			40%	334,08		12	4380	1463,2704
Área 3	97	11,6	100%	1125,2	2250,4	9	3285	3696,282
			60%	675,12		3	1095	739,2564
			40%	450,08		12	4380	1971,3504
Área 4	168	11,6	100%	1948,8	3897,6	9	3285	6401,808
			60%	1169,28		3	1095	1280,3616
			40%	779,52		12	4380	3414,2976
Área 5	68	11,6	100%	788,8	1577,6	9	3285	2591,208
			60%	473,28		3	1095	518,2416
			40%	315,52		12	4380	1381,9776
Área 6	192	11,6	100%	2227,2	4454,4	9	3285	7316,352
			60%	1336,32		3	1095	1463,2704
			40%	890,88		12	4380	3902,0544
Área 7	20	11,6	100%	232	464	9	3285	762,12
			60%	139,2		3	1095	152,424
			40%	92,8		12	4380	406,464
Área 8	20	11,6	100%	232	464	9	3285	762,12
			60%	139,2		3	1095	152,424
			40%	92,8		12	4380	406,464
Área 9	64	11,6	100%	742,4	1484,8	9	3285	2438,784
			60%	445,44		3	1095	487,7568
			40%	296,96		12	4380	1300,6848
Circulación	16	11,6	100%	185,6	371,2	9	3285	609,696
			60%	111,36		3	1095	121,9392
			40%	74,24		12	4380	325,1712
Leisure 1	16	11,6	100%	185,6		24	8760	1625,856
Leisure 2	16	11,6	100%	185,6		24	8760	1625,856
Leisure 3	16	11,6	100%	185,6		24	8760	1625,856
<b>CONSUMO TOTAL</b>								61879,0632

**Tabla 4-7:** Consumo energético de la sala de capacitación con el diseño de iluminación integradora

SALA DE CAPACITACIÓN								
Área	LUMINARIAS				Potencia Total [W]	Horas Uso		Consumo Total [kWh/año]
	Cantidad	Potencia [W]	Dimerizacion	Potencia Parcial [W]		Día	Año	
Área 1	14	19,9	100%	278,6		8	2920	813,512
	2	11,6	100%	23,2				
Tablero	2	11,6	100%	23,2		8	2920	67,744
<b>CONSUMO TOTAL</b>								881,256

**Tabla 4-8:** Consumo energético de la cafetería con el diseño de iluminación integradora

CAFETERÍAS									
Área	LUMINARIAS				Horas Uso		Consumo Total		
	Cantidad	Potencia [W]	Dimerizacion	Potencia Parcial [W]	Potencia Total [W]	Día	Año	[kWh/año]	
CAF 1 - 1				0	0	8	2920	0	
CAF 1 - 2				0	0	8	2920	0	
CAF 1 - 3	16	20	70%	224	224	8	2920	654,08	
CAF 1 - 4	20	20	70%	280	280	8	2920	817,6	
DESC.	11	20	70%	154	154	8	2920	449,68	
CAF 2 - 1	22	20	70%	308	308	8	2920	899,36	
CAF 2 - 2	18	20	70%	252	252	8	2920	735,84	
CAF 2 - 3	22	20	70%	308	308	8	2920	899,36	
CAF 2 - 4	18	20	70%	252	252	8	2920	735,84	
<b>CONSUMO TOTAL</b>									5191,76

**Tabla 4-9:** Consumo energético total anual de la propuesta de iluminación integradora

<b>CONSUMO TOTAL</b> [kWh/año]	67952,0792
-----------------------------------	------------

**Tabla 4-10: Propuesta económica para la iluminación integradora**

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial (COP \$)
<b>01</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				
<b>01.01</b>	<b>TABLEROS DE AUTOMÁTICOS PARA ALUMBRADO GENERAL</b>				
01.01.01	Suministro e instalación de tablero de protecciones T-ILU de 30 circuitos TRIFÁSICO con puerta y chapa, espacio para totalizador y barraje según diagrama unifilar. Incluye protecciones.	UND	1	\$ 4.184.329,23	\$ 4.184.329,23
01.01.02	Suministro e instalación de Sistema de Control KNXDALI	GI	1	\$ 42.484.538,18	\$ 42.484.538,18
<b>01.02</b>	<b>SALIDAS PARA ILUMINACIÓN INTEGRADORA</b>				
01.02.01	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY COVERA 2 ft	UND	2	\$ 8.433.198,46	\$ 16.866.396,92
01.02.02	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY COVERA 4 ft	UND	14	\$ 9.080.439,46	\$ 127.126.152,46
01.02.03	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY DEFINE 2 ASIMETRICA	UND	18	\$ 3.310.748,26	\$ 59.593.468,70
01.02.04	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY DEFINE 2 FLOOD	UND	225	\$ 13.796.052,46	\$ 3.104.111.803,78
01.02.05	Suministro e instalación de LUMINARIA TIPO GLOBO MARCA FAGERHULT	UND	127	\$ 544.540,46	\$ 69.156.638,58
01.02.06	Suministro e instalación de CINTA LED	UND	120	\$ 652.223,83	\$ 78.266.859,60
<b>01.03</b>	<b>SALIDAS PARA ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA</b>				
01.03.01	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS ANTIPÁNICO, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	21	\$ 1.223.712,18	\$ 25.697.955,74
01.03.02	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS PASILLOS, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	26	\$ 1.223.712,18	\$ 31.816.516,63
01.03.03	Suministro e instalación de AVISO LUMINOSO MARCA ZEMPER REF EXITALYA, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	31	\$ 1.231.812,18	\$ 38.186.177,52
01.03.04	Suministro e instalación de SISTEMA DE CONTROL PARA ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA, en tubería EMT de 1/2". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	1	\$ 10.827.388,05	\$ 10.827.388,05
<b>01.04</b>	<b>CERTIFICACIONES</b>				
01.04.01	Certificación RETIE	GI	1	\$ 6.000.000,00	\$ 6.000.000,00
01.04.02	Certificación RETILAP	GI	1	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000,00

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 3.622.318.225,39</b>
ADMINISTRACIÓN (6%)	\$ 217.339.093,52
IMPREVISTOS (2%)	\$ 72.446.364,51
UTILIDADES (7%)	\$ 253.562.275,78
IVA SOBRE UTILIDAD (19%)	\$ 48.176.832,40
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 4.213.842.791,59</b>

**Tabla 4-11: Costo de mantenimiento y recambios para la iluminación convencional**

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial (COP \$)
<b>01</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				
<b>01.05</b>	<b>MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>				
01.05.01	Mantenimiento del sistema de iluminación Convencional Completo	UND	225	\$ 30.721,55	\$ 6.912.347,63
01.05.02	Mantenimiento del sistema de iluminación Convencional Sin Sala de Capacitaciones	UND	219	\$ 30.721,55	\$ 6.728.018,36
01.05.03	Mantenimiento del sistema de iluminación Sin Oficina Abierta	UND	57	\$ 30.721,55	\$ 1.751.128,07
01.05.04	Mantenimiento del sistema de iluminación Sin Cafetería	UND	174	\$ 30.721,55	\$ 5.345.548,83
<b>01.06</b>	<b>RECAMBIO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>				
01.06.01	Recambio de Luminarias VCP Ref:VEL0233 de SALA DE CAPACITACIONES	UND	6	\$ 495.372,85	\$ 2.972.237,12
01.06.02	Recambio de Luminarias VCP Ref:VEL0233 de OFICINA ABIERTA	UND	168	\$ 495.372,85	\$ 83.222.639,47
01.06.03	Recambio de Luminarias VCP Ref:VEL0233 de CAFETERÍA	UND	51	\$ 495.372,85	\$ 25.264.015,55
<b>01.07</b>	<b>SALIDAS PARA ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA</b>				
01.03.01	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS STAND-ALONE ANTIPÁNICO, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND		\$ 598.133,94	\$ -
01.03.02	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS STAND-ALONE PASILLOS, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND		\$ 598.133,94	\$ -
01.03.03	Suministro e instalación de AVISO LUMINOSO MARCA ZEMPER REF EXITALYA STAND-ALONE, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND		\$ 1.231.812,18	\$ -

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 118.371.239,78</b>
ADMINISTRACIÓN (6%)	\$ 7.102.274,39
IMPREVISTOS (2%)	\$ 2.367.424,80
UTILIDADES (7%)	\$ 8.285.986,78
IVA SOBRE UTILIDAD (19%)	\$ 1.574.337,49
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 137.701.263,23</b>

**Tabla 4-12:** Costo de mantenimiento y recambios para la iluminación integradora

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial (COP \$)
<b>01</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				
<b>01.05</b>	<b>MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>				
01.05.01	Mantenimiento del sistema de iluminación completo	UND	1.056	\$ 38.913,96	\$ 41.093.138,59
<b>01.06</b>	<b>RECAMBIO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN</b>				
01.06.01	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY COVERA 2 ft	UND	2	\$ 8.175.657,96	\$ 16.351.315,91
01.06.02	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY COVERA 4 ft	UND	14	\$ 8.822.898,96	\$ 123.520.585,40
01.06.03	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY DEFINE 2 ASIMETRICA	UND	18	\$ 3.053.207,76	\$ 54.957.739,63
01.06.04	Suministro e instalación de LUMINARIA COOPER LIGHTING NEORAY DEFINE 2 FLOOD	UND	225	\$ 3.014.293,80	\$ 678.216.105,00
01.06.05	Suministro e instalación de LUMINARIA TIPO GLOBO MARCA FAGERHULT	UND	127	\$ 338.913,96	\$ 43.042.072,54
01.06.06					
<b>01.03</b>	<b>SALIDAS PARA ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA</b>				
01.03.01	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS ANTIPÁNICO, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	21		\$ -
01.03.02	Suministro e instalación de LUMINARIA DE EMERGENCIA MARCA ZEMPER REF SPAZIO PLUS PASILLOS, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	26		\$ -
01.03.03	Suministro e instalación de AVISO LUMINOSO MARCA ZEMPER REF EXITALYA, en tubería EMT de 3/4". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	31		\$ -
01.03.04	Suministro e instalación de SISTEMA DE CONTROL PARA ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA, en tubería EMT de 1/2". Incluye cableado, tubería, aparato y accesorios de instalación.	UND	1		\$ -
<b>01.04</b>	<b>CERTIFICACIONES</b>				
01.04.01	Certificación RETIE	GI	1	\$ 6.000.000,00	\$ 6.000.000,00
01.04.02	Certificación RETILAP	GI	1	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000,00

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 971.180.957,07</b>
ADMINISTRACIÓN (6%)	\$ 58.270.857,42
IMPREVISTOS (2%)	\$ 19.423.619,14
UTILIDADES (7%)	\$ 67.982.666,99
IVA SOBRE UTILIDAD (19%)	\$ 12.916.706,73
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 1.129.774.807,36</b>

Una vez identificado el costo de instalación (CI) y el costo de mantenimiento de la instalación, se emplea la metodología planteada en el capítulo 6 del RETILAP para el análisis económico de instalaciones, usando el valor presente neto (VPN).

**Ecuación 4-1:** Valor presente

$$VP(CAO) = CAO * \left( \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \right)$$

Donde:

CAO: Costo Anual de Operación.

- $i$ : Tasa de descuento (TD), establecida por la CREG en 16,06%
- $n$ : El número de año de análisis.

**Ecuación 4-2:** Valor Presente Neto

$$VPN = CI + VP(CAO)$$

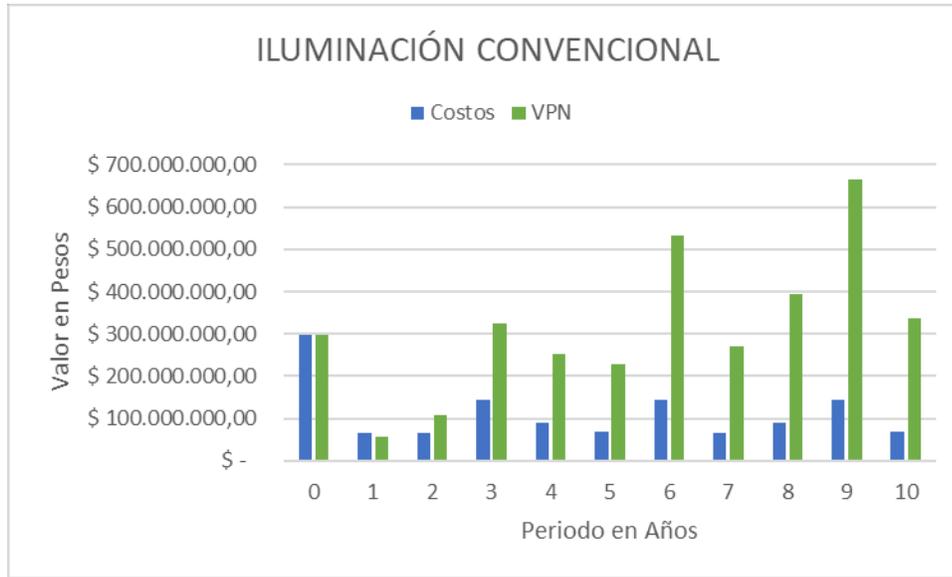
**Tabla 4-13:** Flujo de caja para la propuesta de iluminación convencional

ILUMINACIÓN CONVENCIONAL					
AÑO	0	1	2	3	4
TOTAL	\$ 297.325.537,00	\$ 66.838.301,94	\$ 66.838.301,94	\$ 144.899.721,85	\$ 90.535.518,14
Operaciones VPN	\$ 297.325.537,00	\$ 57.589.438,17	\$ 107.209.839,83	\$ 325.108.982,27	\$ 253.031.607,25

ILUMINACIÓN CONVENCIONAL						
AÑO	5	6	7	8	9	10
TOTAL	\$ 69.626.209,67	\$ 144.899.721,85	\$ 66.838.301,94	\$ 90.535.518,14	\$ 144.899.721,85	\$ 69.626.209,67
Operaciones VPN	\$ 227.657.937,57	\$ 533.069.681,92	\$ 269.454.465,20	\$ 392.489.952,97	\$ 666.094.774,91	\$ 335.768.957,86

**Figura 4-1:** Flujo de caja para la propuesta de iluminación convencional

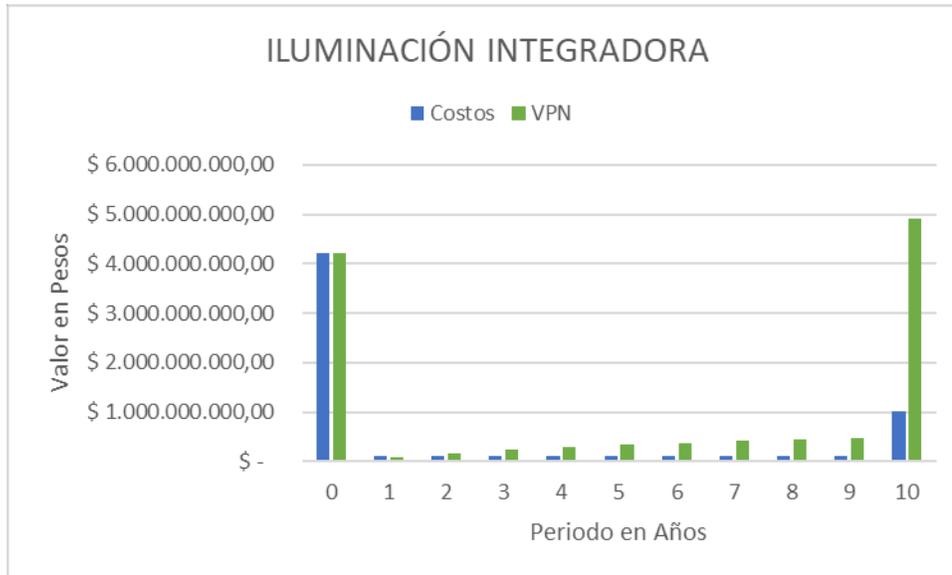


**Tabla 4-14:** Flujo de caja para la propuesta de iluminación integradora.

ILUMINACIÓN INTEGRADORA					
AÑO	0	1	2	3	4
TOTAL	\$ 4.207.356.546,26	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12
Operaciones VPN	\$ 4.207.356.546,26	\$ 89.531.980,98	\$ 166.674.821,73	\$ 233.142.890,62	\$ 290.413.327,37

ILUMINACIÓN INTEGRADORA						
AÑO	5	6	7	8	9	10
TOTAL	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12	\$ 103.910.817,12	\$ 1.019.998.635,60
Operaciones VPN	\$ 339.758.869,98	\$ 382.276.139,15	\$ 418.910.008,86	\$ 450.474.604,50	\$ 477.671.395,50	\$ 4.918.893.050,79

**Figura 4-2:** Flujo de caja del diseño de iluminación integradora

Al cabo de diez años, en el momento en el que se debería hacer un recambio total de las luminarias del diseño de iluminación integrador, para la propuesta de iluminación convencional ya se han debido realizar una serie de recambios en las diferentes áreas de diseño. En ambos casos, se deberá realizar un mantenimiento anual de las luminarias. Al final del ejercicio, y trayendo el calor de la instalación a valor presente neto, se tendrá que la propuesta de iluminación convencional tendrá un costo de \$3.464.801.174,96 pesos, mientras que la propuesta de iluminación integradora tendrá un costo de \$11.975.103.635,75 pesos.

ILUMINACIÓN CONVENCIONAL	
<b>COSTO TOTAL</b>	
\$	1.252.863.063,98
\$	3.464.801.174,96
<b>VALOR PRESENTE NETO</b>	

ILUMINACIÓN INTEGRADORA	
<b>COSTO TOTAL</b>	
\$	6.162.552.535,98
\$	11.975.103.635,75
<b>VALOR PRESENTE NETO</b>	

Si bien el diseño de iluminación convencional presenta un costo más bajo, con el diseño de iluminación integrador se tendrán beneficios no cuantificables para la salud y la comodidad visual de las personas que dan uso a las diferentes áreas.

## **5. Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Dentro de las consultas realizadas a los participantes de la encuesta mostrada en el Anexo A, se ve que es necesario contar con espacios distintivos entre las áreas de trabajo y las áreas de descanso. Adicionalmente, son necesarias las pausas activas que permitan relajar la visión para evitar la fatiga visual.

La normativa vigente en el país, y en muchos casos el desconocimiento de los efectos no visuales de la iluminación en las personas, llevan a que se presente constantemente propuestas de iluminación que tienen un impacto negativo en las personas. Dado esto, es necesario capacitar a diseñadores y personas en general sobre los riesgos a los que se pueden llegar a estar expuestos ante la exposición prolongada a la iluminación de un sitio en particular, y la importancia de realizar descansos periódicos.

Si bien es importante conocer la reflectancia espectral de las superficies del lugar donde se va a realizar un diseño de iluminación, no siempre se cuenta con esta información detallada, por lo que es necesario tomar las peores condiciones según criterio del diseñador, con el ánimo de dar una aproximación lo más acertada posible a lo que se tendrá en la instalación final. Sin embargo, se deja la recomendación de realizar una valoración de la instalación, una vez esta esté terminada para tratar de corregir los posibles problemas que se pueden presentar.

Los cálculos realizados en el presente proyecto con respecto al estímulo circadiano tomaron en consideración los promedios de iluminancias verticales a la altura del ojo de observadores puestos de forma aleatoria. En todo el espacio, los niveles de iluminancia pueden variar debido a la distribución de los puestos de trabajo y luminarias, así como el

aporte por reflectancias de superficies cercanas o lejanas, por lo que para cada usuario el estímulo circadiano tendrá una variación.

La iluminación circadiana es un tema de interés general de las personas involucradas en diferentes ámbitos de la iluminación. Sin embargo, es un tema al que aún le falta investigación para garantizar su inserción en los diseños de iluminación actuales.

En lugares de trabajo es importante contar con espacios de descanso diferenciados de los lugares de trabajo. Esto buscando el correcto descanso de las personas que allí realizan alguna labor y buscando generar entornos que sean más agradables para la permanencia. Adicionalmente, el contar con espacios de descanso adecuados puede estimular la creatividad y productividad de las personas.

Para oficinas de trabajo abiertas, y para la dinámica que se presenta en los contact center con respecto a los horarios rotativos no se ve recomendado implementar una iluminación circadiana en el área general, debido a que el estímulo circadiano no será el adecuado para cada persona.

Si bien el costo de instalación de la propuesta de iluminación circadiana es más alto en comparación con el diseño de iluminación convencional, el diseño de iluminación integrador da un valor agregado a la instalación, orientado a la salud y comodidad visual de los ocupantes.

Cuando se busca implementar un diseño de iluminación integrador, es muy importante tener presente el espectro de la luminaria, puesto que de acuerdo a su comportamiento espectral se puede tener un mayor o menor estímulo circadiano. En lo posible, se debería buscar un espectro con una componente fuerte sobre la curva melanópica.

En diseños de iluminación es importante considerar las estrategias de control que se van a implementar en el lugar y impacto en el consumo energético en la instalación.

## **5.2 Recomendaciones**

En el presente proyecto no se toma en cuenta la variación de los acabados en los espacios de trabajo, ni se tiene en cuenta el espectro que incide en la visión. Para futuros trabajos se podría evaluar la afectación que podría llegar a tener el cambio de los acabados o tomar en cuenta las reflectancias espectrales del área visual de los trabajadores con el ánimo de dar una estimación más acertada al estímulo circadiano que puede presentar una persona.

Para futuros proyectos, se podría estudiar la implementación de luminarias personalizadas en cada puesto de trabajo, con el ánimo de tener un estímulo circadiano adecuado para cada uno de los usuarios.



## 6. Bibliografía

- Batra, S. (2019). LED lighting flicker, its impact on health, and the need to minimise it. *Journal of CLinical and Diagnostic Research*, NE01-NE05.
- Bellia, L. (2014). Indoor artificial lighting: Prediction of the circadian effects of different spectral power distributions. *Lighting Research and Technology*, 650-660.
- CIBSE. (2020). *Research insight 01: Circadian lighting*. CIBSE Knowledge.
- CIBSE. (2022). *Lighting Guide 07: Lighting for offices*. CIBSE Knowledge.
- CIE. (2015). *CIE TN-003 Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry*. Commission Internationale de l'Eclairage.
- CIE. (2018). *CIE-S-026 System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light*. Commission Internationale de l'Eclairage.
- CIE. (2019). *ISO/CIE 22012 Maintenance Factor determination*. Switzerland: CIE.
- Houser, K. (2021). Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? *Lighting Research and Technology*, 97-118.
- Kraneburg, A. (2017). Effect of color temperature on melatonin production for illumination of working environments. *Applied Ergonomics*, 446-453.
- Moore, K. (2017). *Anatomía con orientación clínica - 8va Edición*. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Rea, M. (2002). Phototransduction for human melatonin suppression. *Journal of Pineal Research*, 209-213.
- Rea, M. (2005). A model of phototransduction by the human circadian system. *Brain Research Reviews*, 213-228.
- Rea, M. (2010). Circadian Light. *Journal of Circadian Rhythms*.
- Rea, M. (2012). Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research and Technology*, 386-396.

Rossi, M. (2019). *Circadian Lighting Design in the LED Era*. Milan, Italia: Springer.

The IES Education. (2020). ANSI/IES RP-1-20 Recommended Practice: Lighting Office Spaces. United States of America: The Illumination Engineering Society.

UL - Underwriters Laboratories INC. (2019). *Design Guideline DG24480 for Promoting Circadian Entrainment with Light for Day-Active People*. Bensenville, IL: UL Standards & Publications.

## **7. Anexos**

### **A. Anexo: Encuesta sobre vivencias y percepciones en los contact center**

Este anexo contiene las preguntas y respuestas de las personas consultadas en el marco de la encuesta realizada, para determinar la percepción que suelen tener las personas que trabajan o han trabajado en los contact center.

#### **SONDEO DE VIVENCIA EN UN CONTACT CENTER.**

El presente formulario busca encontrar los aspectos generales en la percepción y vivencias que tienen las personas que trabajan o han trabajado en contact center (entiéndase contact center como call center, chat center y similares), tomando como punto principal la iluminación y el ambiente en general que se encuentra en estos espacios.

La finalidad de este sondeo es identificar aspectos comunes y típicos que se suelen presentar en los contact center, y establecer unas pautas para proponer un diseño de iluminación que sea fuera de lo usual y que genere ambientes laborales más cómodos y saludables.

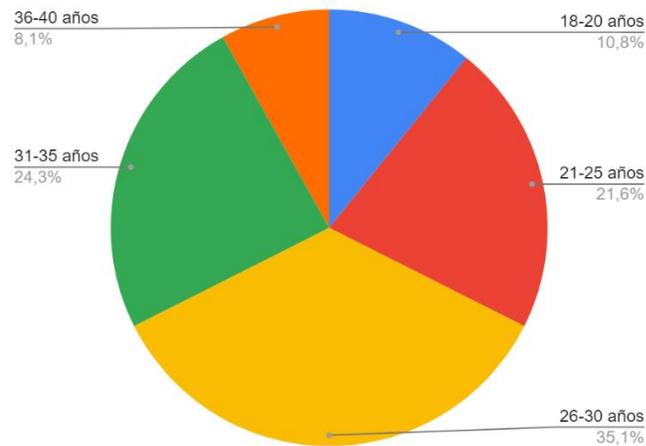
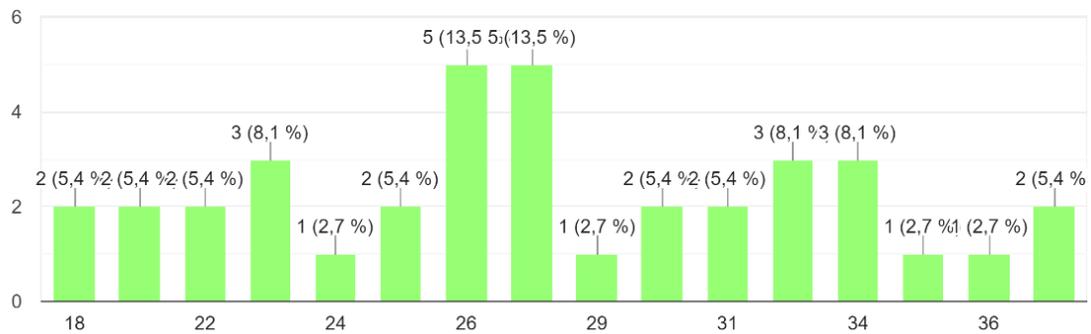
Este diseño será empleado como proyecto de grado en la especialización en iluminación pública y privada. No tiene fines comerciales ni laborales.

## PARTE 1.

### Edad

Edad

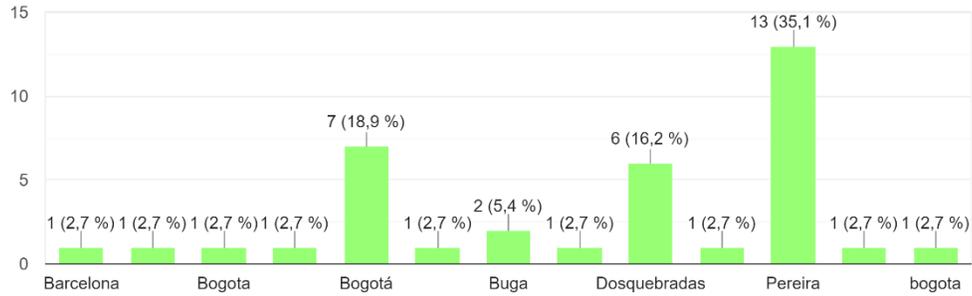
37 respuestas



### Ciudad de Residencia

Ciudad de Residencia

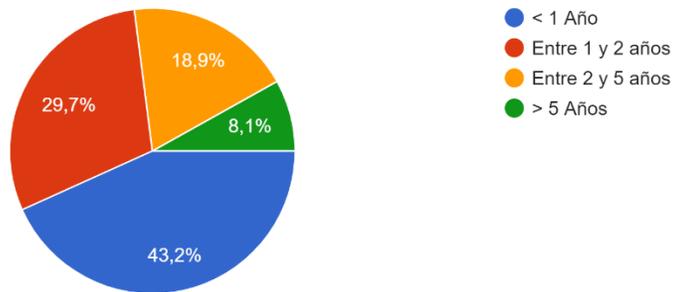
37 respuestas



### ¿Durante cuánto tiempo trabajó en el contact center?

¿Durante cuánto tiempo trabajó en el contact center?

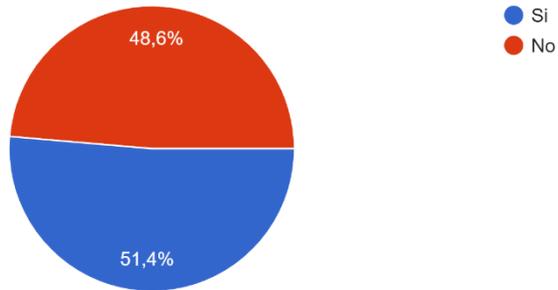
37 respuestas



### ¿Suele tener horarios habituales para dormir y levantarse?

¿Suele tener horarios habituales para dormir y levantarse?

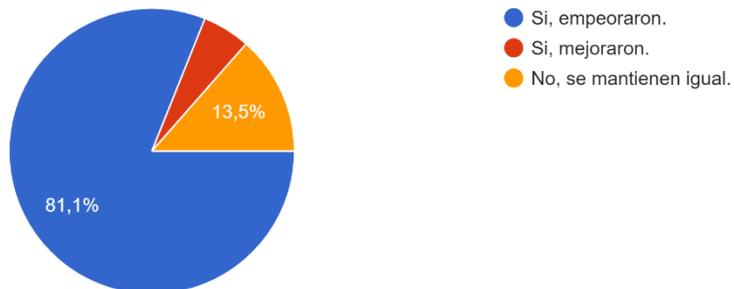
37 respuestas



### ¿Siente que sus hábitos de sueño se modificaron en el periodo de tiempo que trabajó en el contact center?

¿Siente que sus hábitos de sueño se modificaron en el periodo de tiempo que trabajó en el contact center?

37 respuestas

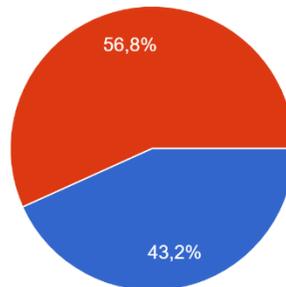


## PARTE 2: Condiciones ambientales

### ¿El área de trabajo contaba con iluminación natural? (Ventanas que dieran al exterior, tragaluces o similares)

¿El área de trabajo contaba con iluminación natural? ( Ventanas que dieran al exterior, tragaluces o similares)

37 respuestas

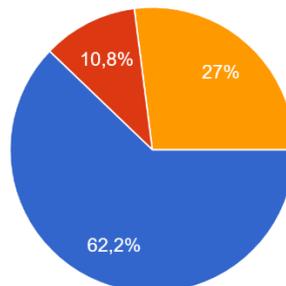


- No. El lugar no contaba con suficientes ventanas y dependía todo el día de la iluminación eléctrica.
- Si. Se contaba con ventanas y/o tragaluces que permitían tener un aporte de luz natural en el espacio.

### ¿El área de trabajo contaba con una paleta de colores en su ambiente o era monótono?

¿El área de trabajo contaba con una paleta de colores en su ambiente o era monótono?

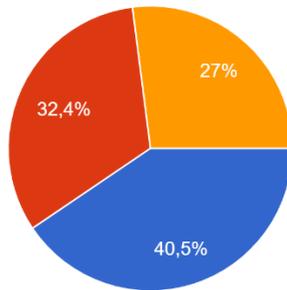
37 respuestas



- En general, el ambiente era de colores claros y no contaba con estímulos de colores.
- Se contaba con paredes de algún (algunos) color (es), que generaban molestia.
- Se contaba con paredes de algún (algunos) color (es), que eran agradables a la vista y generaban comodidad en el ambiente.

## ¿Las áreas de descanso contaban con alguna paleta de colores en su ambiente o era monótono?

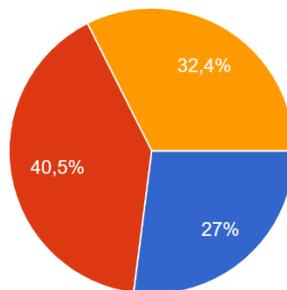
¿Las áreas de descanso contaban con alguna paleta de colores en su ambiente o era monótono?  
37 respuestas



- En general, el ambiente era de colores claros y monótonos y no contaba con diferencias en comparación con el área de trabajo
- Se contaba con una diferencia entre el área de trabajo y el área de descanso, pero no se generaba un ambiente cómodo.
- Se contaba con una diferencia entre el área de trabajo y el área de descanso, y se generaba un ambiente agradable p...

## ¿Considera que sería más agradable un ambiente con algún color en particular o prefiere áreas de trabajo con colores claros?

¿Considera que sería más agradable un ambiente con algún color en particular o prefiere áreas de trabajo con colores claros?  
37 respuestas



- Prefiero paredes blancas
- Prefiero colores claros
- Prefiero paredes con colores

**¿Podría dar una breve descripción de los colores usados en sus ambientes de descanso y laborales?**

- Solo blancos
- Blanco, azul oscuro
- Creo que era blanco y ya
- Verde claro
- Ambientes laborales: gris, blanco, negro. Ambientes de descanso: azul, amarillo, negro, naranja y blanco
- Todos los espacios eran de color gris.
- Azul blanco verde
- Blancos y grises
- Ambiente laboral, grises claros, verde lima y naranja, áreas de descanso blanco verde chillón y naranjas
- Como era tp gran parte de los colores eran fucsia y morado, pero respecto a los colores utilizados generalmente eran agradables y hacían ver moderno el sitio
- Blanco con stikers de rosado y azul
- Verde azul naranja
- Blanco y muy poco azul
- Eran los colores de la empresa azul, blanco, verde o negro
- Gris, mucho gris
- La tonalidad que se uso era un color entre marfil y beige y azul rey.
- Rojo negro blanco
- Blanco
- Blancos y grises
- Ambientes laborales: Blanco, beige, gris. Ambiente de descanso: verde, azul y blanco
- Tonos azules o verdes claros, con blanco y aguamarina.
- Naranja, amarillo, gris
- Era rústico y encerrado, había ventanas, pero nos ubicaban muy lejos de ellas.
- Blancos
- Claros. Blancos y grises.
- Azul y blanco

- Los colores eran en gran medida ocupados por los cubículos de colores crema y azul contrastados por las ventanas y un cielorraso industrial sin decoración o drywall.

Las cafeterías tenían una de dos características: Una habitación con colores muy parecidos al área de trabajo o un espacio con colores variados, muebles colores tierra y muros amarillos y rojos.

- Blanco, gris, azul
- Azul y verde
- Azul, blanco y amarillo
- Verde y gris
- Blanco negro y café.

### **PARTE 3: Iluminación en el espacio de trabajo y lugares de descanso**

Responda a continuación las preguntas, tomando como base la iluminación que suele presentar en los espacios mencionados.

La temperatura de color hace referencia al "tono" de color que se presenta en una fuente de luz blanca que se suele emplear para iluminar diferentes espacios.

En la siguiente imagen (tomada de [www.luzycolor2000.com](http://www.luzycolor2000.com)), se muestra la escala de temperatura de color que se suele encontrar.

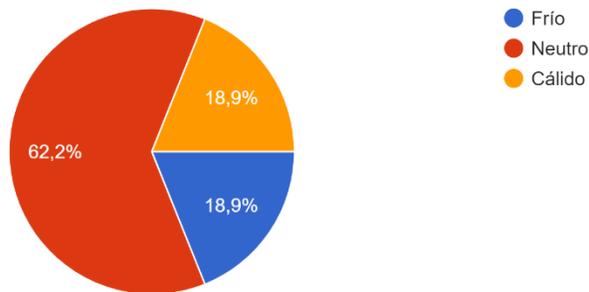
Normalmente, se habla que, una temperatura de color menor a 3500 K es cálida; entre 3500 a 5000 K la tempera es neutra y superior a 5000 K, la temperatura de la luz es fría.



### ¿El tono de la luz (temperatura de color) que suele usar en lugares de descanso son de color frío, neutro o cálido?

¿El tono de la luz (temperatura de color) que suele usar en lugares de descanso son de color frío, neutro o cálido?

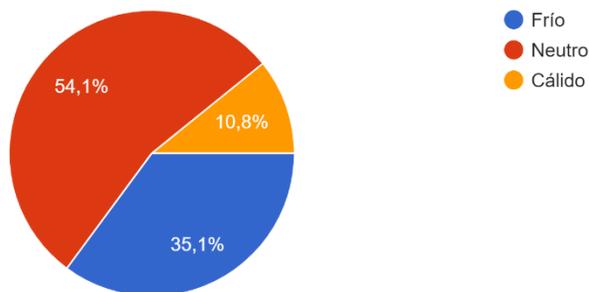
37 respuestas



### ¿El tono de la luz en su espacio de trabajo es de color frío, neutro o cálido?

¿El tono de la luz en su espacio de trabajo es de color frío, neutro o cálido?

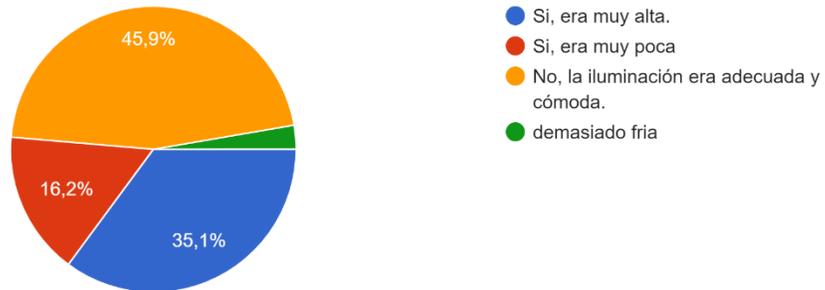
37 respuestas



## ¿Siente que la iluminación en el área de trabajo asignada era inadecuada?

¿Siente que la iluminación en el área de trabajo asignada era inadecuada?

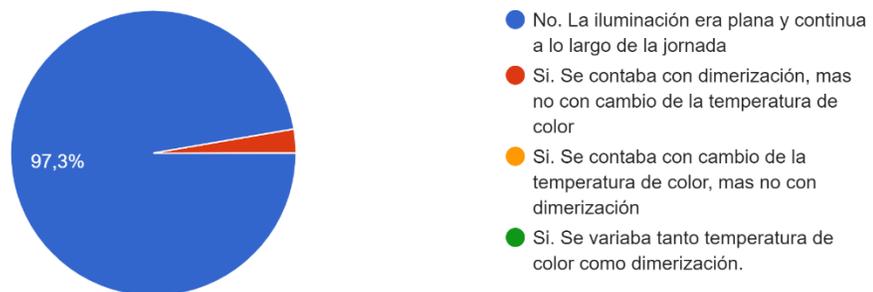
37 respuestas



## ¿En el contact center se contaba con una iluminación dinámica? Es decir, dimerizaban (controlaban los niveles de iluminación) o cambiaban la temperatura de color a lo largo del día?

¿En el contact center se contaba con una iluminación dinámica? Es decir, dimerizaban (controlaban los niveles de iluminación) o cambiaban la temperatura de color a lo largo del día?

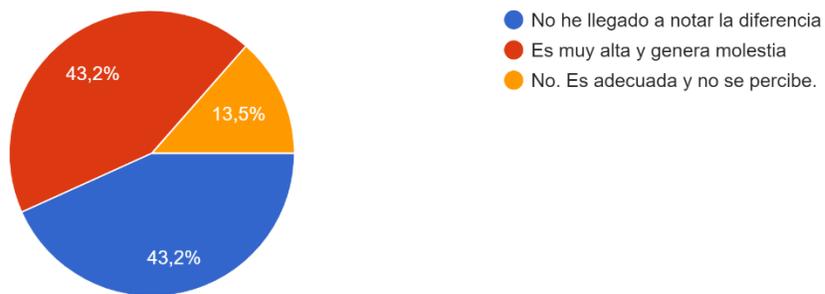
37 respuestas



**¿Siente que el contraste entre la iluminación de fondo en comparación con la cercana, ya sea por la del ambiente o por las pantallas, era muy alta y generaba molestia?**

¿Siente que el contraste entre la iluminación de fondo en comparación con la cercana, ya sea por la del ambiente o por las pantallas, era muy alta y le genera molestia?

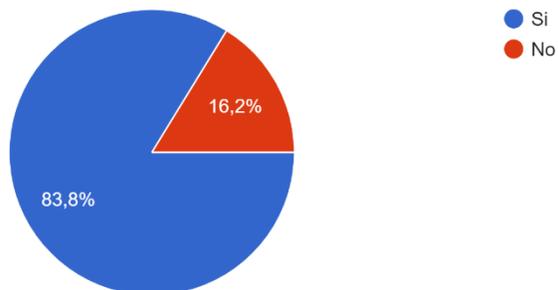
37 respuestas



**¿Cuenta con lugares de descanso al interior del contact center?**

¿Cuenta con lugares de descanso al interior del contact center?

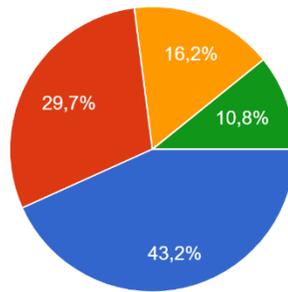
37 respuestas



**Si cuenta con áreas de descanso, ¿siente que la iluminación es igual a la de su área de trabajo, o hay una diferencia entre las dos áreas, generando un espacio donde pueda descansar adecuadamente?**

Si cuenta con áreas de descanso, ¿siente que la iluminación es igual a la de su área de trabajo, o hay una diferencia entre las dos áreas, generan...un espacio donde pueda descansar adecuadamente?

37 respuestas



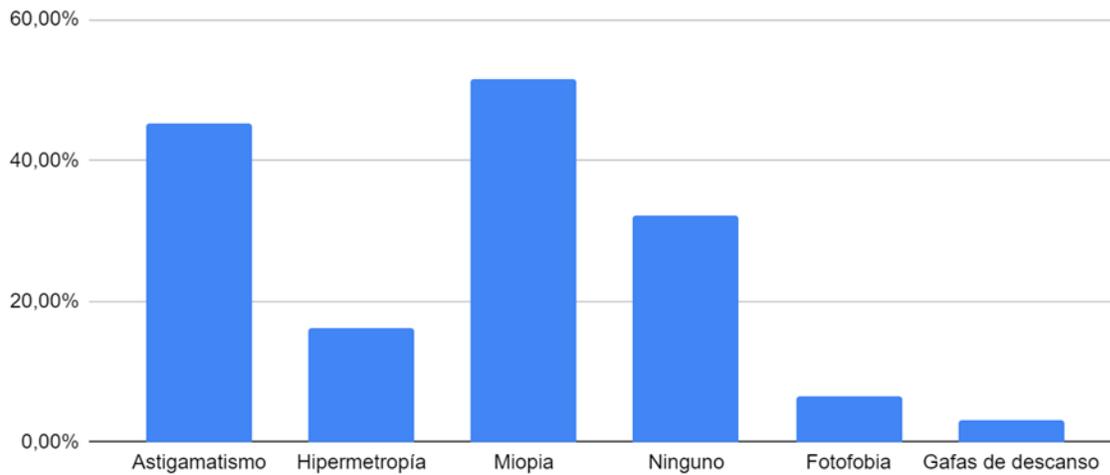
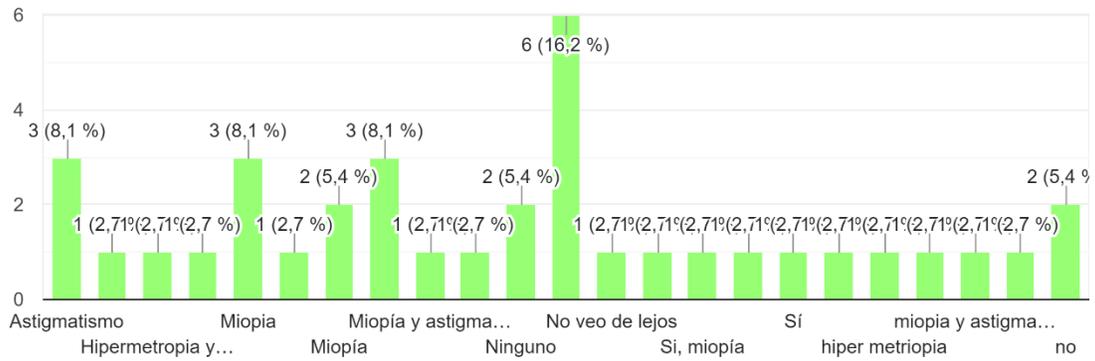
- La iluminación de los dos espacios es igual y no se siente un descanso adecuado
- La iluminación de los dos espacios es igual, pero permite descansar
- La iluminación de los dos espacios es diferente, pero no se genera un ambiente cómodo para descansar
- La iluminación de los dos espacios es diferente, y permite un buen descanso.

## PARTE 4: Salud Visual

### ¿Tiene antecedentes de algún problema visual? ¿cuál?

¿Tiene antecedentes de algún problema visual? ¿Cuál?

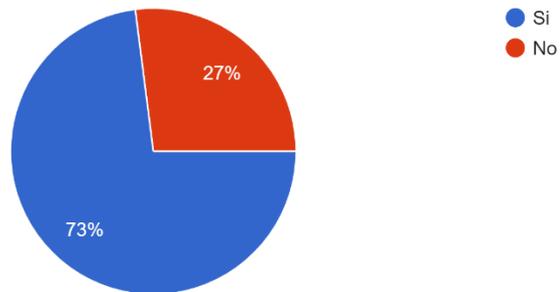
37 respuestas



### ¿Usa gafas de descanso o con filtro de luz azul?

¿Usa gafas de descanso o con filtro de luz azul?

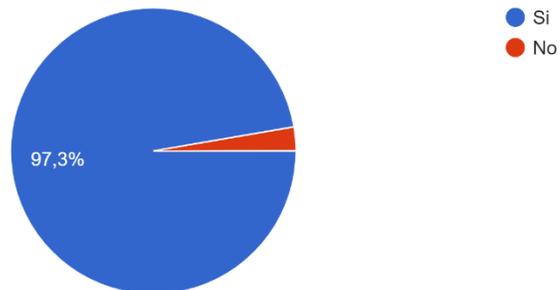
37 respuestas



### ¿Ha llegado a sentir fatiga visual estando en el contact center?

¿Ha llegado a sentir fatiga visual estando en el contact center?

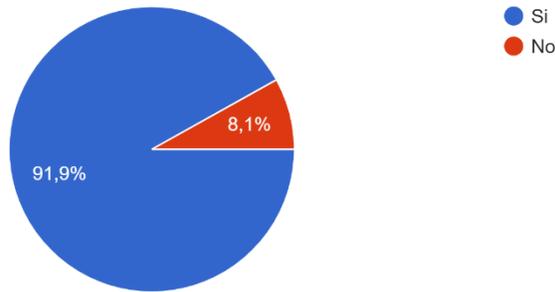
37 respuestas



**En el periodo de tiempo que trabajó en el contact center, ¿llegó a presentar molestias visuales o dolores de cabeza?**

En el periodo de tiempo que trabajó en el contact center, ¿llegó a presentar molestias visuales o dolores de cabeza?

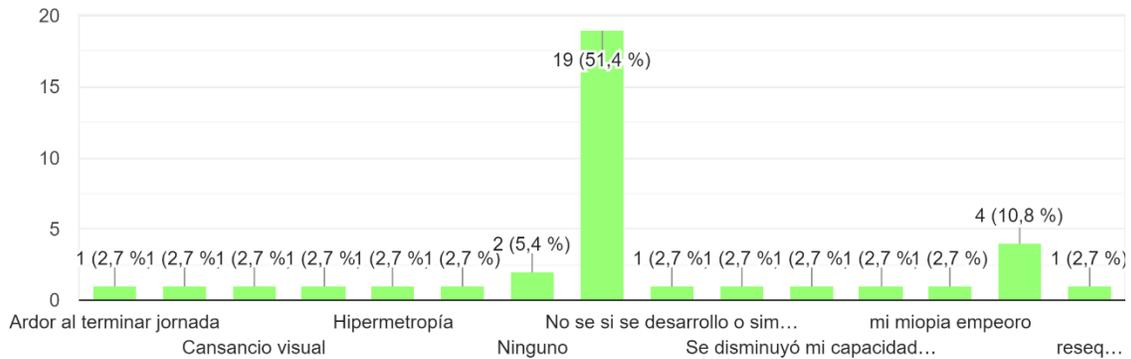
37 respuestas



**¿Desarrolló algún problema visual trabajando en el contact center? ¿Cuál?**

¿Desarrolló algún problema visual trabajando en el contact center? ¿Cuál?

37 respuestas



## **PARTE 5: Comentarios u opiniones**

**¿Tiene algún comentario u observación sobre cómo se podría mejorar el entorno visual en su lugar de trabajo y zona de descanso?**

- Más cambios en la temperatura del color que ayuden a relajar la vista durante la jornada.
- Utilizando luces tenues y colores suaves/claros
- ventanas y luz más cálida
- Si el espacio de trabajo no me permita descansar visualmente, y el de descanso carecía de espacios para descansar, es decir, había espacios para comer y guardar las cosas, pero no para otro tipo de cosas (las personas se sentaban y se dormían en las mesas en sus tiempos de descanso, colocando una alarma para no llegar tarde a su turno)
- Protector de luz en monitores. Pausa activa fuera de pantallas. Mas espacios iluminados con luz natural. Regular el tono de luz dependiendo de cuantas horas se lleve trabajando o el horario.
- En el lugar de descanso deberían de tener una luz natural dónde se sienta pueda realmente descansar
- Con colores, y estímulos visuales dinámicos
- Diferentes tonos de iluminación a lo largo del día
- Mejorando le brillo de algunas zonas

## **B. Anexo: Resultados luminotécnicos del diseño de iluminación convencional del contact center, usando Dialux Evo**

Se anexan los resultados fotométricos de la evaluación realizada al diseño de iluminación convencional para el contact center.

## **C. Anexo: Resultados luminotécnicos del diseño de iluminación integrador del contact center, usando Dialux Evo**

Se anexan los resultados fotométricos de la evaluación realizada al diseño de iluminación integrador o HCL para el contact center, tomando en cuenta las variaciones de CCT y dimerización.

## **D. Anexo: Resultados luminotécnicos del diseño de iluminación de emergencia propuesto, usando Dialux Evo**

Se anexan los resultados fotométricos de la evaluación realizada al diseño de iluminación de emergencia para el contact center.



