

Optimización disergonómica de puestos de trabajo: caso centrales eléctricas

dysergonomic optimization of workplaces: the case of power plants

Recibido: 28 de julio de 2022

Aprobado: 2 de diciembre de 2022

Forma de citar: C. I. Rodríguez-Vargas, J. F. Domínguez-Rangel, S. M.Candanoza Bernal "optimización disergonómica de puestos de trabajo: caso centrales eléctricas", Mundo Fesc, vol. 13, no. S1, pp. 337-356, 2023. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1534>

César Iván Rodríguez Vargas * 

Ingeniero Industrial
Universidad de Pamplona
cesar.rodriguez3@unipamplona.edu.co
Cúcuta, Colombia

Jessica Ferley Domínguez Rangel 

Magister en Ingeniería Industrial
Corporación Universitaria Minuto de Dios
jessica.dominguez@uniminuto.edu
Cúcuta Colombia

Sorella Margarita Candanoza Bernal 

Magister en Administración MBA
Corporación Universitaria Minuto de Dios
sorella.candanoza@uniminuto.edu
Cúcuta, Colombia

*Autor para correspondencia:

cesar.rodriguez3@unipamplona.edu.co, jessica.dominguez@uniminuto.edu, sorella.candanoza@uniminuto.edu



Optimización disergonómica de puestos de trabajo: caso centrales eléctricas

Resumen

Este proyecto desarrollado en el marco de la práctica empresarial en la empresa Centrales Eléctricas de Norte de Santander - CENS, con el propósito de mejorar las condiciones del ambiente laboral de los trabajadores. Asimismo, se proporcionaron los conocimientos mínimos sobre las lesiones y peligros a los que están expuestos los trabajadores durante sus actividades y como evitarlos o minimizarlos mediante la acción conjunta de la empresa y sus empleados. Por lo tanto, esta iniciativa comenzó con el diagnóstico del estado actual tanto del sistema de iluminación como del lugar de trabajo, haciendo uso de la metodología LEST para determinar las acciones a tomar una vez alcanzados los resultados. Luego se realizó una propuesta para optimizar los niveles de iluminación que se adaptaran a las necesidades de cada puesto de trabajo, todo esto en busca de la optimización del consumo energético y, como beneficio añadido, la reducción de emisiones de CO₂ al medio ambiente mediante un menor consumo energético. Además, se creó una herramienta para determinar la cantidad y tipo de luces requeridos para el mejor desempeño y menor riesgo. Finalmente, se determinó la viabilidad económica de la propuesta, y se encontró que cada peso invertido generará un rendimiento de 4,65 pesos. Esto se relaciona con la disminución de gastos y, lo que es más esencial, contribuirá de manera positiva y beneficiosa al entorno ambiental.

Palabras clave: Iluminación, ergonomía, optimización, riesgo disergonómico.

Dysergonomic optimization of workplaces: the case of power plants

Abstract

This project developed within the framework of business practice at the company Centrales Eléctricas de Norte de Santander - CENS, with the purpose of improving the conditions of the workers' work environment. Likewise, minimum knowledge was provided about the injuries and dangers to which workers are exposed during their activities and how to avoid or minimize them through joint action by the company and its employees. Therefore, this initiative began with the diagnosis of the current state of both the lighting system and the workplace, using the LEST methodology to determine the actions to take once the results are achieved. Then a proposal was made to optimize the lighting levels that adapted to the needs of each workplace, all in search of optimizing energy consumption and, as an added benefit, the reduction of CO2 emissions to the environment through a lower energy consumption. Additionally, a tool was created to determine the number and type of lights required for best performance and lowest risk. Finally, the economic viability of the proposal was determined, and it was found that each peso invested will generate a return of 4.65 pesos. This is related to the decrease in expenses and, more importantly, will contribute positively and beneficially to the environmental environment.

Keywords: Lighting, ergonomics, optimization, disergonomic risk.

Introducción

La vista es uno de los sentidos más importantes para los seres humanos, y es vital reconocer su importancia para el desarrollo de las actividades personales o laborales de cada una de las personas. Además, es indispensable su cuidado para mantener la salud en las mejores condiciones. En este sentido se hace importante destacar que cada actividad requiere un nivel específico de iluminación, Por lo tanto, adaptar los entornos de trabajo es esencial para permitir a los empleados desempeñar sus funciones sin verse afectados por las condiciones ambientales, especialmente en tareas que demandan una agudeza visual significativa [1].

[2] Menciona que los peligros vinculados a la iluminación están asociados con las condiciones del entorno de trabajo, ya sea debido a la cantidad de luz presente o a posibles deficiencias en la misma.

En cuanto a los factores que intervienen en los efectos de la exposición a la iluminación: [3] demuestra que es a través de los sentidos que las personas experimentan diferentes sensaciones. Quizás el más importante de ellos es la información obtenida del sentido de la vista (alrededor del 80%) en forma de imágenes o contenido visual. Por otro lado, ciertos aspectos de la salud humana, como el agotamiento mental, están influenciados por el nivel de luz y color que proporciona el entorno personal; Por lo tanto, el nivel de iluminación debe estar dentro del rango especificado.

Así mismo, en cuanto a las consecuencias de la falta de iluminación, [4] menciona que la seguridad laboral, el aforo y el confort visual son factores que hay que tener en cuenta en cualquier actividad laboral, porque la mayoría de los accidentes se producen, entre otros motivos, por falta de iluminación. o por errores de los trabajadores detectados por deficiencias similares. Es difícil identificar objetos peligrosos o peligros asociados con maquinaria, vehículos y contenedores. Además, cabe señalar que los lugares de trabajo insuficientemente iluminados pueden ser perjudiciales para la salud de los trabajadores, provocando molestias e incluso provocando enfermedades como fatiga visual, cansancio, dolores de cabeza, estrés y problemas de oído por accidente (que pueden provocar consecuencias importantes como daños materiales), instalación. y equipo, lesiones graves o la muerte.

[5], afirma que la seguridad y precisión al realizar una tarea depende de la agudeza visual, la cual a su vez depende de la cantidad y calidad de la luz. estar presente en el área de trabajo; Es por ello que los sistemas de iluminación deben diseñarse para proporcionar condiciones óptimas de confort visual.

Para conseguirlo hay que tener en cuenta el tipo de lámpara y sistema de iluminación instalado, así como la distribución lumínica, la eficiencia luminosa y la composición espectral de la luz, pero estos son sin duda los factores más decisivos. Es un equilibrio entre la cantidad, calidad y consistencia de la luz, para que no haya reflejos ni deslumbramientos, la luz sea uniforme y no haya un contraste excesivo.

Metodología LEST

Según [6], se considera riesgo una posible causa o condición de responsabilidad que causa o conduce a enfermedad, lesión o daño a una persona, que puede surgir derivado de errores de diseño, organización y gestión. actividades laborales, causando daños a los trabajadores como estrés laboral, fatiga extrema, ansiedad e incluso depresión.

Para evaluar objetivamente las características del ambiente de trabajo es necesario establecer una valoración que nos indique si las condiciones observadas en el área de trabajo son buenas, permanentes o perjudiciales para los trabajadores, por eso es necesario aplicar la metodología LEST. el cual según [6] es generalizado y tiene en cuenta todos los diferentes puntos del entorno laboral sin profundizar en cada aspecto lo que lleva a identificar aspectos específicos en los que centrarse. Para aplicar este método se debe recopilar cierta información para poder evaluar cada aspecto considerado importante en cada área de la empresa. Cada dimensión está representada por diferentes aspectos, como los que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Subdivisión de las variables LEST

Entorno físico	Carga física	Carga mental	Aspectos psicosociales	Tiempos de trabajo
Ambiente térmico	Carga estática	Apremio de tiempo	Iniciativa	Tiempo de trabajo
Ruido	Carga dinámica	Complejidad	Estatus social	
Iluminación		Atención	Comunicaciones	
Vibraciones			Relación con el mando	

Nota: la anterior tabla muestra en resumen las variables que se deben aplicar dentro de la metodología LEST.
Fuente: Elaboración propia.

Materiales y métodos

Técnica de medición

La metodología que se utilizó para medir el nivel de iluminación corresponde a la regulación de las tecnologías de iluminación e iluminación pública para regular la iluminación y las tecnologías de iluminación pública NTC GTC 8 en 1994.

La medición óptica se emplea para determinar el nivel de luminosidad, y el nivel de iluminación natural y artificial se puede usar en un lugar o área de trabajo cuantitativa. Para esto se tomaron medidas luxométricas en las áreas laborales, incluyendo el sistema de iluminación y la presencia de luz natural en diferentes partes del edificio Módulo 5 de la empresa, así:

Definir el tipo de muestreo.

Identificar la clase de luminarias que se instalarán y la disponibilidad de sistemas.

Determinar factores de iluminación.

Cada clasificación debe realizarse para el correcto funcionamiento de la luminaria.

Se calibra a la altura del plano de trabajo y se registra el valor arrojado por el sistema. Compare los valores registrados con los recomendados para las actividades y zonas. Analizar resultados y factores de exposición para sacar conclusiones y recomendaciones.

Equipos utilizados

En este proyecto los equipos que se requirieron para las mediciones fueron: Luxómetro digital portátil con mediciones de hasta 50000 luxes; marca Sonel, modelo LXP 1, con celda fotoeléctrica la cual es ubicada a la altura del plano de trabajo que se quiere analizar, obteniendo como resultado una lectura directa en luxes.

Procedimiento manual para el cálculo de las luminarias a instalar

Diseño de iluminación para un sistema de alumbrado de interiores

El método utilizado para el diseño de los sistemas de iluminación interior determinado por la normativa vigente, la RETILAP que desde 2009, en Colombia, este reglamento establece pautas para asegurar la eficiencia energética y la calidad de la iluminación en sistemas de alumbrado público, priorizando la idoneidad para la visión [7]. Se denomina método de cavidad zonal, basado en: los límites medios de su área son planos imaginarios ubicados a la altura del plano laboral y el resto limitado a la altura del grupo de luminarias. Estas salidas específicas se llaman salidas de techo, salidas de habitación y salidas de piso. Los pasos metodológicos para diseñar una instalación de iluminación basado en ciertas requisiciones son los siguientes:

“Análisis del proyecto.
Definir parámetros de local.
Seleccionar iluminancia media.
Selección conjunto lámpara– luminaria” [8].

para poder establecerlo se determinan las características fotométricas principales:

Flujo luminoso [lm]
Potencia eléctrica [W]
Eficacia [lm/W]
Diagrama polar de distribución luminosa
Coeficientes de utilización.

Calcular cavidad del local (K)

Es un dato de gran importancia en el proceso ya que con él se puede “determinar más adelante el coeficiente de utilización (CU) para cada tipo de luminaria seleccionada de acuerdo a las hojas de datos entregadas por el fabricante” [9]. (Aunque hay una manera genérica de calcularlo en caso de no tener estos datos).

Figura 1 Cavidades del local



Nota: en la ilustración anterior se evidencian las cavidades del local para el cálculo del coeficiente de utilización.

Fuente: [10]

Donde:

$$hm = h - (PT + PML) \quad [m]$$

hm: Altura de la cavidad del local [m]

h: Altura del local [m]

PT: Plano de trabajo [m]

PML: Plano de montaje de luminarias [m].

$$K = \frac{5 \cdot hm \cdot (l+a)}{l \cdot a} = RCL$$

Definido hm como el espacio encontrado entre la superficie de trabajo y la altura a la que se va a instalar la luminaria, l y a son el largo y el ancho del espacio de manera respectiva. K o RCL representan al índice de la cavidad del local.

Determinar coeficiente de utilización (CU)

El factor de usabilidad es la relación que se tiene entre el flujo de luz que cae en la superficie de procesamiento y el flujo luminoso que es emitido por la luminaria [11]. Este factor refleja el flujo de luz que se usa efectivamente en el plano de trabajo después de interactuar con los accesorios y las superficies de la habitación. CU se determina interpolando los datos de la tabla facilitada por el fabricante, los datos a tener en cuenta en la interpolación son la reflectancia superficial efectiva y el índice K.

Tabla 2
 tabla de coeficiente de utilización (CU).

K	p Techo	0,8		0,5		0,2	
	p Pared	0,8	0,4	0,8	0,4	0,8	0,4
1		0,94	0,85	0,52	0,65	0,42	0,39
2		0,91	0,87	0,65	0,75	0,53	0,38
3		0,89	0,71	0,50	0,62	0,42	0,37
4		0,81	0,72	0,53	0,60	0,41	0,25

Nota: La tabla anterior muestra los coeficientes de utilización para unos determinados valores de reflexión en techo y pared, que se toman con relación a un índice de cavidad del local calculado anteriormente.

Fuente: Elaboración propia

La forma en que se interpolan los valores de la Tabla 2 es dándoles la ubicación que a ellos les corresponda en las diferentes casillas de la tabla y del índice K se asume que este tiene un valor de 1. En la tabla CU se encuentran valores enteros correspondientes a los índices K y reflectancia y respecto de ellos se debe elegir aproximando el que mejor se acerque.

Los valores de reflectancia y de índice K que se encuentran en las tablas de CU son valores enteros así que se deben elegir los más cercanos. Y es así que para el desarrollo del ejercicio se debe aproximar así: P Techo: 0,80 >> 0,8 - P Paredes: 0,75 >> 0,8. El valor de K es fijo y solo hay que ubicarlo en la tabla. De este modo como se aprecia en Tabla 2 el CU para el ejemplo es de 0,94.

Calcular Factor de mantenimiento (FM).

Es la relación entre la iluminación media en el plan de trabajo después de un cierto período de uso de la instalación y la iluminación media obtenida al comienzo de una nueva operación. Cualquier diseño del sistema de iluminación debe tener en cuenta el factor de mantenimiento para asegurar el nivel medio de iluminación establecido por RETILAP. Factor de mantenimiento viene dado por la siguiente expresión:

$$FM = FE * DLB * Fb$$

Donde:

FM: Factor de mantenimiento

FE: Desgaste de una luminaria por falta de mantenimiento

DLB: disminución de flujo de luz causante de desgaste en la bombilla

Fb: Factor de balasto.

Buscando que el proceso sea ágil también se puede definir el Factor de Mantenimiento de una de las tablas generadas por la “Comisión Internacional de Iluminación”, en la que solo con solo dejar clara la cantidad de veces que se hará mantenimiento al sistema durante el año, la clase luminaria que se tiene y por último los factores medio ambientales del espacio en el que está instalado el sistema de iluminación y por consiguiente le afectan.

Tabla 3 Valores de FM sugeridos por la CIE.

Frecuencia de limpieza (veces/año)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Condiciones ambientales								
Luminarias abiertas	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior cerrada	0,96	0,9	0,86	0,83	0,89	0,84	0,8	0,75
Reflector parte inferior cerrada	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,8	0,69	0,59
Reflectores cerrados	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminarias a prueba de polvo	0,98	0,94	0,9	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emisión directa	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

Fuente: Elaboración propia

En donde:

P: Pure - Puro o muy limpio

C: Clean - Limpio

N: Normal

D: Dirty - Sucio.

Flujo luminoso total requerido (ϕ_{tot}).

Con este valor se determina el flujo de luz en total que se requiere para obtener la media de iluminación (E_{medio}) ya anteriormente determinada. Este llamado flujo total se determina de la siguiente manera:

$$\phi_{tot} = \frac{E_{medio} \cdot A}{CU \cdot FM} \quad [lm]$$

Donde:

ϕ_{tot} . Flujo total de luz que se requiere [lm]

E_{medio} : Media de iluminancia que se requiere [lx]

A: Área del espacio [m²]

CU: Coeficiente de utilización

FM: Factor de mantenimiento.

Determinar la cantidad luminarias que se requieren (N).

una vez se ha establecido el flujo de luz que se requiere para producir una luminancia determinada y sabiendo ya cual es el flujo de luz que cada luminaria emite, la cantidad de luminarias que se requieren se debe calcular así:

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l * n}$$

Donde:

N: Cantidad de luminarias que se requieren

n: Cantidad de bombillas para cada luminaria

φ_{tot} : Flujo de luz total que se requiere [lm]

φ_l : Flujo de luz que emite la bombilla [lm]

Luego de hallar N, que normalmente resulta un número decimal, se elegirá un número de lámparas que se usarán con aproximación a N; si se llegan a tener dos opciones rivales se deberán tener ambas en consideración y decidirse por la que sea la más adecuada.

Es decir, si N resulta igual a 12,24, se tendrán en consideración 11, 12 y 13 luminarias y elegir desde una visión técnica y económica, luego de hacer esto N se convertirá en el nuevo número elegido. Cálculo de flujo de luz real (φ real) y promedio real de luminancia (E_{prom}). Luego de calcular la cantidad de lámparas que se van a usar en el sistema se calculará el flujo de luz real que estas emiten.

$$\varphi_{real} = N * n * \varphi_l \quad [lm]$$

Donde:

φ_{real} : Flujo de luz real que emiten [lm]

N: Cantidad de lámparas que se requieren

n: Cantidad de bombillos de cada lámpara

φ_l : Flujo de luz de cada bombillo [lm].

Una vez se halla φ real se procederá a realizar el cálculo del promedio de luminancia que producirá con este dato con este dato. Este promedio se puede calcular así:

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \cdot CU \cdot FM}{A} \quad [lx]$$

Donde:

φ real: Flujo de luz que emiten las lámparas de manera real (lm)

CU: Coeficiente o factor de utilización

FM: Factor de mantenimiento

A: Área del espacio en el que se instalan (m²).

Resultados y discusión

Dentro de las mediciones y análisis realizados a los puestos de trabajo se tienen las mediciones de luxometría y la metodología LEST cuyos resultados se muestran a continuación.

Tabla 4
Metodología LEST aplicada a los puestos de trabajo

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA LEST AL PUESTO DE TRABAJO					
Dimensión	Variable	Criterios necesarios	Observaciones	Puntaje Individual	Agupado
Carga física	CARGA ESTÁTICA	Las posturas más frecuentemente adoptadas por el trabajador así como su duración en minutos por hora de trabajo	Posturas de riesgo, con una duración de 50 minutos aproximadamente por cada hora de trabajo	3	1,25
		El peso en Kg. de la carga que provoca el esfuerzo	sin peso para la realización de los labores	3	
	CARGA DINÁMICA	Si el esfuerzo realizado en el puesto de trabajo es continuo o breve pero repetido	El proceso es breve pero repetido	4	
		Si el esfuerzo es continuo se indicará la duración total del esfuerzo en minutos por hora	30 minutos por cada hora	4	
		Si los esfuerzos son breves pero repetidos se indicará la veces por hora que se realiza el esfuerzo	2 veces por hora	4	
Entorno físico	RUIDO	El nivel de atención requerido por la tarea	El nivel de concentración	2	2,5
		El número de ruidos molestos a los que está sometido el trabajador	El trabajador está expuesto a ruidos de tipo interno generados por los vehículos que transitan cerca a la empresa	3	
	AMBIENTE LUMINOSO	El nivel de iluminación en el puesto de trabajo	El nivel de iluminación en el área de trabajos de 337 luxes y de 400 luxes en las áreas donde se realiza el mantenimiento de laboratorio (esta iluminación se enfoca en mantener la concentración del trabajador en su actividad principal de los ensayos)	3	6
		El nivel medio de iluminación general de la empresa	337 luxes	5	
		El nivel de percepción requerido en la tarea	El nivel de percepción es un poco inadecuado, debido a que se requiere una visualización de más de un objeto al mismo tiempo	2	
		Si se trabaja con luz artificial	si, con luminarias desgradadas en cada puesto de trabajo	5	
		Si existen de iluminación tenue	si	5	
	VIBRACIONES	La duración diaria de exposición a las vibraciones	No aplica	1	1
		El contenido de las vibraciones	No aplica	1	
	Carga mental	COMPLEJIDAD	Duración media de cada operación repetida	25 minutos	1
Duración media de cada ciclo en mantener permisos y otros tipos de trabajos en el laboratorio			1 hora	2	
Aspectos psicosociales	COMUNICACIÓN CON LOS DEMÁS TRABAJADORES	Si el trabajador puede sustituirse de su trabajo	El reemplazante	2	2,8
		Qué es el cual el reglamento sobre el derecho a hablar	sin inconveniente respecto a plantear con los demás trabajadores	2	
		La posibilidad de tener un diálogo en el puesto	Adecuada	3	
		La libertad de hablar en el puesto	reglamento	2	
		Duración semanal en horas del tiempo de trabajo	45 horas semanales	3	
Tiempos de trabajo	CANTIDAD Y ORGANIZACIÓN DEL TIEMPO DE TRABAJO	Tipo de horario del trabajador	doble jornada, mañana y tarde	2	2,14
		Norma respecto a horas extras o extras	sin existencia	1	
		Si son tolerados los retrasos horarios	Si son justificables	2	
		Si el trabajador puede fijar las pausas	Por su propio bienestar se le permite hacerlo	2	
		Si puede fijar el final de su jornada	Fin de jornada establecido (ver el OGP)	3	
		Las pausas de descanso	se dan durante la jornada dependiendo de sus necesidades	2	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5
Mediciones luxométricas a los puestos de trabajo

Centrales (Eólicas de Norte de Santander) (CENS)												
Edificio: Módulo 5 de la sede administrativa de Sevilla												
Equipo utilizado:												
PUERTO	NOMBRE DEL PUESTO	Altura sobre el piso (m)	TIPO DE ILUMINACIÓN	Nivel de iluminación encendido	Nivel de Iluminación de la RETINA			Porcentaje de Iluminación	Grado de riesgo	Probabilidad de riesgo	Nivel de iluminación	Observaciones
					Mínimo	Medio	Máximo					
Módulo 5 Piso 1												
40	Soporte administrativo gestión inmobiliaria puesto 40	0,9	Artificial	202	300	500	750	40,4	55,6	MUY ALTA	Deficiente	Panel led redondo ubicado al costado izquierdo del puesto de trabajo.
36	Soporte administrativo unidad suministro puesto 36	0,9	Artificial	105	300	500	750	21	29	MUY ALTA	Deficiente	Paneles led redondos ubicados al lado derecho del puesto inhabilitados, no se encuentran en funcionamiento.
38	Soporte administrativo seguridad física puesto 38	0,9	Artificial	130	300	500	750	22	28	MUY ALTA	Deficiente	Ausencia de fuente artificial de iluminación sobre el puesto de trabajo, panel led redondo ubicado al costado derecho del puesto de trabajo.
39	Soporte administrativo gestión inmobiliaria puesto 39	0,9	Artificial	279	300	500	750	54,6	48,4	MEDIA	Deficiente	Panel led redondo en función del puesto de trabajo, luminaria de baja intensidad lumínica.
29	Soporte administrativo cadena de abastecimiento puesto 29	0,9	Artificial	94,6	300	500	750	10,93	80,06	MUY ALTA	Deficiente	Panel led redondo ubicado en función del puesto de trabajo, encendidos averiados.
26	Soporte administrativo cadena de abastecimiento puesto 26	0,9	Artificial	261	300	500	750	40,2	59,8	ALTA	Deficiente	Panel led redondo ubicado detrás del puesto de trabajo, presenta baja intensidad lumínica por desgaste.
Módulo 5 Piso 2												
17	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 17	0,9	Artificial	278	300	500	750	55,6	44,4	MEDIA	Deficiente	La luminaria ubicada de forma perpendicular al puesto de trabajo no se encuentra en funcionamiento, reflejo de iluminación artificial ubicada al costado del puesto.
18	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 18	0,9	Mixta	366	300	500	750	73,2	26,8	BAJA	Adecuada	Panel led redondo ubicado al lado derecho del puesto de trabajo, ingreso de luz natural por el costado derecho del puesto por ventana sin persiana, no se evidenció reflejo por ingreso de luz natural.
19	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 19	0,9	Mixta	369	300	500	750	137,8	-17,8	ALTA	Excesivo	Ausencia de fuente artificial de iluminación sobre el puesto de trabajo, paneles led redondos ubicados delante del puesto, ingreso de luz natural por el costado.
20	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 20	0,9	Mixta	405	300	500	750	81	19	BAJA	Adecuada	Paneles led redondos ubicados delante y detrás del puesto de trabajo, ingreso de luz natural a través de ventana con stor enrollables.
21	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 21	0,9	Artificial	243	300	500	750	48,6	51,4	MEDIA	Deficiente	Luminaria ubicada de forma perpendicular detrás del puesto de trabajo, baja intensidad lumínica por desgaste.
22	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 22	0,9	Artificial	654	300	500	750	130,8	-30,8	BAJA	Adecuada	Luminaria ubicada de forma perpendicular en función del puesto de trabajo.
23	Talento humano y desarrollo corporativo puesto 1 jefe del área	0,9	Mixta	305	300	500	750	110	-19	BAJA	Adecuada	Fila de tres paneles led redondos ubicada delante del puesto de trabajo, ingreso de luz natural delante del puesto por ventana con stor enrollable a media asta.

Fuente: Elaboración propia.

Creación de Herramienta

Para poder realizar un cálculo más ágil de la cantidad de luminarias requerida, basados en el procedimiento manual se creó una herramienta que permitiera generar respuestas con solo incluir algunos datos específicos; y para este procedimiento en Excel se estableció lo siguiente:

Hoja con catálogo de las posibles luminarias LED más eficientes con las principales características relevantes para el procedimiento.

Se establece de acuerdo a las fórmulas anteriormente mostradas en el procedimiento manual, una tabla que permite calcular automáticamente la cantidad de luminarias requeridas para el espacio con solo añadirle los valores a considerar como:

(luxes a cumplir en el espacio), (largo, ancho y alto del espacio), (altura de trabajo), (altura desde el área de trabajo hasta la luminaria), (factores de reflexión de techo, pared y suelo), (potencia y flujo luminoso de la luminaria), (coeficiente de utilización), (factor de mantenimiento); todos estos con el fin de calcular: (superficie, índice de local [K], flujo luminoso total y por último número de luminarias necesarias para cumplir con los lúmenes en dicho espacio).

Figura 2
Cálculo de alumbrado interior

CÁLCULO ALUMBRADO INTERIOR			
LOCALIZACIÓN (X):		ÁREA GENERAL DE TRABAJO	
DATOS:			
DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL LOCAL			
NIVEL DE ILUMINACIÓN		500 Lux	
DIMENSIONES			
LONGITUD	26.7 m	SUPERFICIE PISO (m ²)	389.40
ANCHO	14.6 m		
ALTURA	2.3 m		
DEL TECHO AL PUESTO DE TRABAJO (Hm)	1.56 m		
ALTURA DE PUESTO DE TRABAJO	0.74 m		
FACTORES DE REFLEXIÓN		TECHO	PARED
		0.8	0.7
			SUELO
			0.3
TIPO DE LAMPARA:		LAMPARA DE TECHO	
MODELO		170 RECTANGULAR 30X60	
POTENCIA		36	W
FLUJO LUMINOSO		3540	lm
CÁLCULOS:			
ÍNDICE DEL LOCAL/RECINTO (K)	0.83	$K = (5 * Fm * (1+a)) / (l * a)$	
COEFICIENTE UTILIZACIÓN (Cu)	0.94		
FACTOR DE MANTENIMIENTO (FM)	0.86		
FLUJO NECESARIO (flujo total)	241105.89	$q_{tot} = (E_{medio} * A) / (CU * FM)$ [lm]	
NÚMERO DE LAMPARAS (N)	68.21	LAMPARAS	$N = q_{tot} / (q * n)$

Nota: la tabla muestra los comentarios de los valores importantes que deben añadirse bien sea desde las otras tablas del documento o que se basan en valores de fábrica. Fuente: Elaboración propia.

Propuestas de solución

A partir de los resultados del diagnóstico se proponen alternativas de solución para contribuir a reducir el nivel de riesgo al que están expuestos los trabajadores. Posteriormente se realizaron sugerencias de mejora:

Plan de capacitación

Los resultados de los diagnósticos realizados mostraron que la mayoría de los empleados carecían de conocimientos en el campo de la ergonomía. Por ello, se optó por implementar un plan de capacitación para minimizar los errores en el lugar de trabajo. Trabajar con todo el personal administrativo y operativo para evitar que estos incidentes vuelvan a ocurrir.

Desarrollar las habilidades y conocimientos de los empleados beneficia tanto a ellos como a la empresa, [6] Afirman que ayuda a los empleados a mejorar sus conocimientos, habilidades y cualidades, y la empresa los apoya aumentando los beneficios y reduciendo los costos en el futuro por lesión.

Finalidad del plan de formación:

Dentro de los objetivos que tiene el plan de formación se encuentra:

Definir y dar a conocer a los trabajadores los conceptos básicos de ergonomía.

Conocer la manera en que nuestro cuerpo se mueve y cómo eso se relaciona con la aparición de lesiones músculo esqueléticas, aportando a los trabajadores buenas estrategias preventivas.

Entender los peligros a que los trabajadores se exponen en sus áreas de trabajo, lo que podría provocar lesiones acumulativas.

Entender lo importante que es el uso de elementos de protección personal.

Dar los recursos que necesita para conocer y administrar de manera proactiva su tiempo libre con métodos efectivos y específicos para cada tarea. (Pausas activas).

Comunicar y proporcionar a los empleados de la empresa toda la información, métodos y estrategias necesarias para usar la herramienta correctamente y los puestos de trabajo con el fin de reducir el riesgo de trastornos.

Prevenir futuras lesiones en el lugar de trabajo.

Plan de redistribución de iluminación.

Debido a que un gran porcentaje de los puestos de trabajo de la empresa Centrales Eléctricas, especialmente en el primer piso, donde la iluminación natural es más escasa, no cumplen con los parámetros y/o estándares pertinentes, se ha decidido desarrollar una propuesta de mejora con la finalidad de optimizar la actual iluminación para cumplir con los requisitos establecidos en la RETILAP de 500 lux promedio para los puestos de trabajo de oficina y de esta manera reducir el riesgo de posibles enfermedades y/o accidentes producidos por la deficiencia y/o exceso de los niveles de iluminación.

Como base legal, la Resolución 2400 de 1979 en el Capítulo 3 titulado Alumbrado y reglamento técnico en materia de iluminación y alumbrado público [12] establece los requisitos y medidas que debe cumplir el sistema de alumbrado. Para esto, el nivel de iluminación del sistema de iluminación dentro de la parte administrativa de la empresa se calcula utilizando el método lumen.

Plan de redistribución de iluminación.

Debido a que un gran porcentaje de los puestos de trabajo de la empresa Centrales Eléctricas, especialmente en el primer piso, donde la iluminación natural es más escasa, no cumplen con los parámetros y/o estándares pertinentes, se ha decidido desarrollar una propuesta de mejora con la finalidad de optimizar la actual iluminación para cumplir con los requisitos establecidos en la RETILAP de 500 lux promedio para los puestos de trabajo de oficina y de esta manera reducir el riesgo de posibles enfermedades y/o accidentes producidos por la deficiencia y/o exceso de los niveles de iluminación.

Como base legal, la Resolución 2400 de 1979 en el Capítulo 3 titulado Alumbrado y reglamento técnico en materia de iluminación y alumbrado público [12] establece los requisitos y medidas que debe cumplir el sistema de alumbrado. Para esto, el nivel de iluminación del sistema de iluminación dentro de la parte administrativa de la empresa se calcula utilizando el método lumen.

Selección del tipo de luminaria.

Elegir el tipo de luminaria utilizada requiere aspectos como: el nivel de iluminación necesario para el consumo de energía, la rentabilidad de la instalación y el mantenimiento. Teniendo en cuenta estos aspectos, es recomendable utilizar luz LED, ya que tiene un mayor alcance, proporciona mayor iluminación por cada bombillo y consume un 80-90% menos de energía respecto de otros tipos de luminarias. [13] Otros beneficios que ofrece son:

Mayor vida útil

Son más verdes

No generan calor

Bajos costes de mantenimiento

La luz LED tiene una respuesta inmediata cuando se enciende

Resistencia a los impactos y roturas de los LED

La luz LED no proyecta rayos dañinos de tipo ultravioleta y su haz de luz no parpadea

Según [1] "Cuando se enciende la luz, el haz de radiación llegará a cada objeto en un espacio definido, directa o indirectamente reflejándose en las diferentes superficies. La cantidad de luz natural definirá la cantidad de luz artificial que se requiera para el sistema. "Dado que el haz del LED empotrado incide en la superficie, se refleja muy poco en la pared y nada en el techo, por lo que la iluminación será directa, además, este sistema es el más económico y da la mejor eficiencia de luz.

Análisis económico de la propuesta

Costos de la propuesta

Luego de generar los cálculos pertinentes de acuerdo a las cantidades de luminarias requeridas y en comparación con las luminarias actuales se presenta el resumen los datos así:

figura 3

Comparación de los sistemas en sus costos generales

	Actual		Propuesto	
Luminarias	5,09%	13868400	6,72%	10207600
costos de instalación	0,48%	1312000	0,27%	408000
consumo	94,43%	257216587,6	82,21%	124935565,4
Elementos y mano de obra		no definidos	10,81%	16426333,3
	100%	272396987,6	100%	151977498,7
IVA		51755427,64	IVA	28875724,76
TOTAL ANTES DE IVA		220641560	TOTAL ANTES DE IVA	123101774

Fuente. Elaboración propia.

De la figura 3, se puede deducir que el nuevo sistema le reducirá gastos a la empresa por alrededor de 120 millones de pesos en un periodo de 17 años, siendo esta una reducción significativa en sus gastos principalmente porque los costos de instalación no superan el 20 % del total de lo que se deducirá al final de este periodo, siendo una inversión relativamente baja considerando que la posible continuidad del sistema actual igual tiene un valor significativo además de que no se cumple con los requerimientos normativos y del trabajador pudiendo provocar sanciones y además lesiones, accidentes y o enfermedades en el trabajador a causa de su sobreesfuerzo por mantenerse en un ambiente no óptimo para el desarrollo de sus actividades.

Beneficios de la propuesta

En el aspecto económico de acuerdo con el análisis realizado se pudo deducir que el nuevo sistema le evitará gastos a CENS por alrededor de 120 millones de pesos en un periodo de 17 años siendo esta una reducción significativa en sus gastos principalmente porque los costos de instalación no superan el 20 % del total de lo que se deducirá al final de este periodo, siendo una inversión relativamente baja y en consideración también de que solamente se está teniendo en cuenta uno de los muchos edificios en que los trabajadores de CENS realizan sus actividades.

En cuanto a la parte laboral del ámbito ergonómico los beneficios hacia la comodidad del trabajador por unas condiciones de iluminación adecuadas y óptimas para el desarrollo de sus actividades pueden evitar lesiones osteomusculares en los trabajadores, enfermedades por

sobreesfuerzo de la visión y accidentes en el área de trabajo.

El principal beneficio de esta propuesta se refleja en el bienestar ergonómico de la mano de obra. Según [14] en el rango de ventajas cualitativas, muestra que un estudio en Holanda hecho por los científicos Wut van Bommen y Gerrit van den Belt encontró que mantener la iluminación es suficiente para este tipo de trabajos.

Aumenta la productividad en hasta un 20% y reduce los días de enfermedad, reduce la fatiga visual y aumenta su productividad. Del mismo modo, aumenta la seguridad laboral, reduce el riesgo de accidentes, mejora la calidad e inspección de los procesos y promueve un buen clima laboral en la empresa [15].

Considerando las pausas activas constantes, las capacitaciones sobre el manejo de herramientas y la forma en que se mueve o se está en su área de trabajo, estas le traerán al trabajador mayor énfasis en su actividad física manteniéndose activo y le darán las herramientas para procurar que su estado de salud sea el más óptimo en cuanto a su carga laboral pueda generarle.

Análisis beneficio-costo

A continuación, se presentan los datos obtenidos, entre el total de egresos, lo equivalente a la inversión que debe hacer la empresa para ejecutar el proyecto y mejorar la iluminación y el total de ingresos que obtendría, lo que correspondería a los gastos que se evitaría durante el periodo de vida útil del proyecto.

Tabla 8 Total egresos

Nombre	descripción	Cantidad	Valor Unit	Total
Luminarias	Luminarias led de 12 watts	29	17900	519100
	Luminarias led de 18 watts	18	24900	448200
	Luminarias led de 24 watts	6	36900	221400
	Luminarias led de 30x60	98	79900	7830200
CABLEADO	Valor a pagar por cableado necesario para el sistema	400	8000	3200000
ACCESORIOS DE TIPO BREAKER (UND)	Valor a pagar por compra de accesorios de encendido.	40	4500	180000
ACCESORIOS DE TIPO CAJA (UND)	Valor a pagar por accesorios complementarios.	40	2500	100000
TUBERÍA PARA CABLEADO (m)	Valor a pagar por tubería direccionadora de cableado	100	983,33	98333
CODOS PARA UNIR TUBERÍA (UND)	Valor a pagar por codos para unir tubería	40	1200	48000
Cielo raso drywall (área de 90 m2)	Valor a pagar por instalación de cielo raso con estructura por m2.	90	120000	10800000
costo de personal	Valor a pagar por los técnicos electricistas.	2	700000	1400000
	Valor a pagar por el técnico en construcción.	1	600000	600000
COSTOS POR CAMBIO	Costo por cambio de luminarias una vez se cumpla su vida útil	204	2000	408000
TOTAL EGRESOS				25853233

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9 Total beneficios

Nombre	descripción	Cantidad	Total
Disminución de gastos por consumo	Valor que la empresa deja de pagar en consumo de energía al optimizarse esta energía; correspondiente al periodo de vida útil del proyecto.	equivalente a 17 años	120419489
TOTAL BENEFICIOS			120419489

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el cálculo del beneficio-costo, se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{B}{C} = \frac{\Sigma \text{Beneficios adquiridos}}{\Sigma \text{Costos}} \quad \frac{B}{C} = \frac{120419489}{25851233} = 4,65$$

Como se puede evidenciar, el resultado obtenido de la relación beneficio costo es de 4,65. Lo cual indica que el proceso de llevar a cabo el proyecto de optimización de la iluminación es viable ya que, por cada peso invertido, genera 4,65 pesos de beneficio al final del ejercicio.

Conclusiones

De acuerdo con la recolección de información, revisión de la norma técnica y medida de iluminancia promedio general realizada, se encontró que un gran porcentaje de los puestos de trabajo de la empresa Centrales Eléctricas de Norte de Santander – CENS no están en condiciones óptimas para el pleno desarrollo de las actividades que en ella se realizan, como lo es el caso de los niveles de iluminación en las áreas y en donde muchos puestos de trabajo se encuentran fuera de lo establecido en la RETILAP.

En la creación de la herramienta para la definición y el establecimiento de la iluminación a utilizar en la propuesta se determinó que con esta se reduce el tiempo de trabajo para futuros proyectos de renovación de iluminación para las áreas de trabajo y se concluyó con el establecimiento de la propuesta que la reducción de consumo es evidente ya que mucha de la iluminación de los edificios de CENS es de tipo fluorescente y esta consume más y tiene menor vida útil que la tecnología LED [16] [17].

Del análisis económico de la propuesta de eficiencia energética se dedujo que la empresa CENS se ahorra al menos \$120.000.000 COP migrando hacia una totalidad de la tecnología LED en materia de iluminación, viéndose representado en que por cada peso invertido se obtienen beneficios de \$4,65 pesos al final del ejercicio y como parte final se destaca el hecho de que la eficiencia de un sistema de alumbrado trae disminución en gastos de energía con ello se reducen daños medioambientales como la disminución de CO₂ que se emite al medio ambiente [18] [19] [20].

Referencias

- [1] Arias Devia, K. L., Gonzáles Jiménez, N. C., & Martínez Guerrero, Y. (2020). Calidad De Iluminación En Ambientes De Trabajo En El Sector De Manufactura. Monografía, Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24831/CALIDAD%20DE%20ILUMINA>
- [2] Armas Santana, F. J. (2022). Revisión bibliográfica sobre la satisfacción y la iluminación en el puesto de trabajo.
- [3] Rojas Rios, S. P. (2018). La Ergonomía Visual: Estudio Comparado De La Normatividad Interna Sobre Iluminación Interior En Espacios Laborales En España, Chile Y Colombia. Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22597/RojasRiosSandraPatricia2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Berrada, M. (2018). Evaluación De Propuestas De Mejora De La Iluminación Artificial De Un Aula. Universidad Politécnica De Valencia, Valencia. Obtenido De https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/112624/Berrada_Meryem_Csa-F0062.Pdf?Sequence=1&isallowed=Y
- [5] Cepeda Chacón, H. M. (2017). Informe De Evaluaciones Ocupacionales. Positiva Compañía de Seguros, Bogotá. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/55492482/Informe+iluminacion+lbague.pdf/73818053-462d-498d-b32d-dbcc1e0e2931?version=1.0>
- [6] Manrique Pico, D. S., & Otero Yañez, C. A. (2019). Propuesta de mejoramiento para reducir el nivel de riesgo disergonómico y psicosocial en los puestos de trabajo del área de producción de una empresa de plásticos. Universidad el Bosque, Bogotá. Obtenido de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/1629/Otero_Ya%C3%B1ez_Cristian_Andrey_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [7] Gamboa Torres, H. (2021). Diseño del sistema de iluminación de algunas zonas comunes de la universidad Antonio Nariño sede sur mediante software Dialux en cumplimiento el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (Retilap).
- [8] Ramírez Valadés, C. (2019). ESTUDIO DE UNA EMPRESA DE ILUMINACIÓN, PROPUESTA Y ANÁLISIS DE MEJORAS. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, MADRID. Obtenido de https://oa.upm.es/54375/1/TFG_CRISTINA_RAMIREZ_VALADES.pdf
- [9] Carrasquilla Ortega, K. (2022). Actualización Tecnológica del ambiente de formación del programa de gestión integrada de la calidad, medio ambiente y salud ocupacional.

- [10] Estrada Sánchez, P. A., & Arano Silva, J. A. (2020). Propuesta de diseño de un programa de eficiencia energética para la Facultad de Ingeniería y Edificio Administrativo de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25668/EstradaS%C3%A1nchezPaulaAndrea2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] Morales, J. C. (2021). Estudio de factibilidad para la creación de una Planta de balanceados en la Asociación Aprodemag Ubicada En La Provincia De Cotopaxi Cantón Latacunga Parroquia Mulaló Sector Chinchil De Robayos. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- [12] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). Resolución 2400 de 1979. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Bogotá. Obtenido de <https://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>
- [13] Auz Figueroa, D. D. (2021). Análisis Energético Y Reducción En Consumo De Energía Eléctrica Para La
- [14] Garzón Atará, L. F. (2018). Formulación del Proyecto de Sustitución de Luminarias Fluorescentes a Led en la sede Nivel Central de la Unidad Administrativa Especial Migración Colombia. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20910/GarzonAtaraLuisFerne2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] Cáceres Aguilar, B. X. (2023). Seguridad Industrial, la Cultura de la Prevención.
- [16] Quiñonez, M. Q., Quiñonez, K. Y. S., Caicedo, M. R. I., & Bone, V. E. R. (2022). Impacto de la iluminación LED en la calidad de la energía de los circuitos de alumbrado público. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(4), 286-301.
- [17] Siverio Valle, L., Quintero Cabrera, D. A., & Fariñas Wong, E. Y. (2021). Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV. *Ingeniería Energética*, 42(2), 69-80.
- [18] Pineda Cadavid, L. F. (2021). Proyecto piloto para la implementación de iluminación con tecnología LED en los hogares de la localidad de suba de Bogotá DC.
- [19] Angulo Terry, J. I. (2020). Estudio comparativo de iluminación con luz incandescente y luz led en el cultivo de gypsophila (gypsophila paniculata l.) Cv. Tango en Caraz a 2256 MSNM.