

REAXXION

Ciencia y tecnología universitaria

XXIX

ISSN: 2007 - 7750

10
AÑOS

Año 10, Número 2, 2023

Diseño y desarrollo de un colector de canal parabólico para aprovechamiento de energía solar térmica

Desarrollo de una metodología de medición multifactorial de la productividad por fases

Análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas





UTL

LEÓN

Directorio

Jorge Enrique Hernández Meza

*Secretario de Educación de
Guanajuato*

Yoloxóchitl Bustamante Díez

*Encargada de Despacho de Rectoría
de la Universidad Tecnológica de León*

José Ernesto López Juárez

Secretario Académico

Olga Rebeca Ledesma García

*Directora de Desarrollo Académico y
Docente*

José de Jesús Mendoza Rivas

Director de Económico Administrativo

José Fernando Torres Vallejo

*Director de Tecnologías Emergentes
Industriales e Informáticas*

Ma. de Jesús Armenta Ortiz

*Subdirectora de Económico
Administrativo*

José Jaime Ávila Morales

*Subdirector de la Unidad Académica
del Sureste*

Laura Paulina Badillo Canchola

*Encargada de la Subdirección de
Tecnologías Emergentes Industriales e
Informáticas*

Martha Betzabé Murillo

Hernandez

*Encargada de la Subdirección de
Industrial Sustentable*

Comité Editorial

Liliana González Arredondo

Directora Editorial

Pedro Andrés Meza Torres

Aseguramiento de calidad

Daniel Israel Rodríguez Gante

Diseño web

Laura Elizabeth Martínez Olaz

Diseño gráfico y editorial

María de la Luz García Cárdenas

Corrección Editorial

Jessica Sandoval Palomares

*Representante de la Dirección de
Desarrollo Académico y Docente*

Ma. Guadalupe Serrano Torres

*Representante de Área
Económico-Administrativa*

Roberto Gutiérrez Guerra

*Representante de Área Industrial
Sustentable*

Anahí Torres Tinoco

*Representante de Área Tecnologías
Emergentes Industriales e
Informáticas*

J. Guadalupe Santos Gómez

Representante de Área Ingeniería

Mayra Verónica Barrera

Figueroa

*Representante de la Unidad
Académica del Sureste*





Carta editorial

Reacción Año 10, número 2

En la revista asumimos como misión el acercamiento de la ciencia y la tecnología a las comunidades académicas y la sociedad, a través de la participación de investigadores e investigadoras que, en disciplinas específicas, presentan sus hallazgos y desarrollos.

En este número se incluyen dos aportaciones en el área de las Ingenierías y una enfocada a las Ciencias Sociales y la Economía. Estas colaboraciones tratan de resolver ciertas preguntas y a su vez, generar nuevas inquietudes que den continuidad al avance científico y tecnológico.

Así, en el ámbito de las energías renovables y la sustentabilidad: ¿existen alternativas que, de manera más eficiente (y, en consecuencia, menos costosa) permitan aprovechar la radiación del sol? Los autores de **Diseño y desarrollo de un colector de canal parabólico para aprovechamiento de energía solar térmica** muestran que sí es posible y, en este sentido, han creado, en las inmediaciones de la Universidad Tecnológica de Manzanillo (México), un prototipo de sistema fototérmico que permite la producción de vapor de proceso, para uso en sectores industriales y residenciales. Esto contribuye al ahorro en el consumo de electricidad o de energía que se origine en combustibles fósiles, de manera que se tendría un impacto de disminución en las emisiones de dióxido de carbono equivalente.

Por otra parte, los autores de **Desarrollo de una metodología de medición multifactorial de la productividad por fases**, refieren el caso paradójico de México que, en el escenario de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, es el país que registra el número más alto de horas laboradas por año, pero el índice de productividad es menor a la media de quienes integran dicha alianza. Su exploración los lleva a concluir que para aumentar la competitividad del país se hace necesario disponer de indicadores que den cuenta más cercana de la realidad. Entonces, ¿cómo aumentar la productividad? Al analizar las causas del bajo nivel en este parámetro, los autores argumentan que es preciso



iniciar la medición en el nivel de los proveedores, ya que este factor incidiría en el componente que sigue (personal), este a su vez en el siguiente (procesos) y por último en los productos. Esto marcaría la pauta no solo para medir, sino para trabajar en mejorar la competitividad de una empresa en particular y de un estado o país en su conjunto.

Y la tercera pregunta implícita en este número de Reacción: ¿puede la iluminación ser un factor que influya en el resultado de las líneas productivas? Ya la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 Condiciones de Iluminación en los centros de trabajo marca las características de la luz que debe haber en los puestos de trabajo. Con estas bases de comparación, el equipo autoral de **Análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas**, tras realizar un estudio en una empresa industrial, calculó el número, distancia y altura de suspensión de las luminarias, así como el nivel de flujo luminoso que se requiere en cada área física de trabajo, y comprobó que efectivamente, una iluminación adecuada tiene un impacto favorable en el desempeño del personal y reduce la cantidad de materiales dañados durante el proceso de fabricación.

Confiamos en que la lectura de estas colaboraciones permitirá al público lector escalar en su propia espiral de preguntas-respuestas-preguntas.

Agradecemos a las y los autores que participaron en la integración de este número de la revista, así como a los expertos y expertas que realizaron el arbitraje de las propuestas de publicación que se les presentaron para dictamen.

Atentamente.
Comité Editorial de Reacción



Índice

7.

Diseño y desarrollo de un colector de canal parabólico para aprovechamiento de energía solar térmica

23.

Desarrollo de una metodología de medición multifactorial de la productividad por fases

33.

Análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas

REAXXION



Diseño y desarrollo de un colector de canal parabólico para aprovechamiento de energía solar térmica

Design and development of a parabolic trough collector for the use of solar thermal energy

Juan Antonio Díaz Gómez, Manuel Ramos Ponce, Juan Ríos Hernández y David Manuel Ramos Sánchez /
Universidad Tecnológica de Manzanillo

Resumen

Actualmente las energías renovables tienen un papel cada vez más importante en la generación de energías limpias. Con este proyecto se busca impulsar las energías renovables y la sustentabilidad. Se propone un prototipo para el aprovechamiento de la energía solar, mediante un colector solar de canal parabólico (CSCP). El diseño se realiza en CAD (Diseño asistido por computadora), además se consideran parámetros ópticos, geométricos y ecuaciones para el comportamiento térmico. Se analizó el CSCP en cinco aspectos: ubicación, orientación; la estructura soporte; concentrador; acoplamiento; funcionamiento. En los resultados se observa que el prototipo es adecuado para alcanzar temperaturas por arriba de los 100 °C, con un factor de concentración de 22.42 y un área de apertura de 16 m² así como inclinación hacia el sur de 19.1°, utilizando una placa de aluminio acabado plata espejo.

Palabras clave: colector de canal parabólico, energías renovables, caracterización del colector solar.

Abstract

Renewable energies currently play an increasingly important role in the generation of clean energy. This project pursues to promote renewable energies and sustainability. A prototype is proposed for the use of solar energy by means of a parabolic trough solar collector (CSCP). The design has been developed in CAD (Computer Aided Design), in addition, optical and geometrical parameters and equations for thermal behavior are considered. The CSCP was analyzed in five aspects: location, orientation; the support structure; concentrator; coupling; operation). The results show that the prototype is suitable to reach temperatures above 100 °C, with a concentration factor of 22.42 and an aperture area of 16 m², as well as an inclination towards the south of 19.1°, using a silver aluminum mirror plate.

Keywords: parabolic trough collector, renewable energy, characterization of the solar collector.

Introducción

La energía solar es un recurso importante que se extiende en la mayor parte del territorio mexicano, en promedio de unos 5.5 kW/m², de acuerdo con los datos de IRENA¹. El uso de tecnologías que aprovechan esta fuente energética trae beneficios al medio ambiente y una disminución del uso de combustibles fósiles, principalmente en el sector industrial y en las centrales de potencia donde se requiere calor de proceso. La tecnología fototérmica de canal parabólico es la más extendida a nivel mundial, con más de 2600 MWe instalados. Sin embargo, existen otras aplicaciones, como la generación de calor de proceso, las cuales resultan muy interesantes y de gran utilidad para la industria que requiere energía térmica en sus procesos.

Se estima que en una industria típica la demanda de calor de proceso² puede ir desde un 40 hasta un 60 % del total de la energía consumida y que un 30 % de ese calor es utilizado a temperaturas entre 80 y 250 °C.

El Sistema Eléctrico Nacional proporciona el factor que estipula cuántas emisiones de CO₂eq conlleva la generación de electricidad en el país, y de acuerdo con la Comisión Reguladora de Energía, que es la encargada de calcular cada año el factor de emisiones del sector eléctrico nacional permite observar las tendencias de cada año sobre las emisiones de CO₂. En la Figura 1 se muestra el factor de emisiones del periodo 2017-2021.

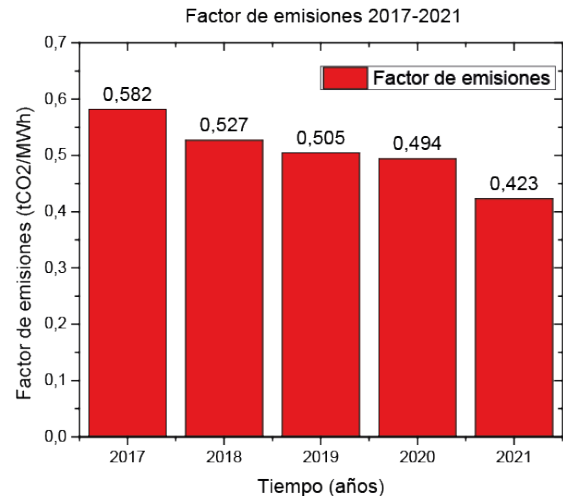


Figura 1. Factor de emisiones 2017-2021
Fuente. Micrositio de CELs, CRE³

Como se muestra en la Figura 1, existe una tendencia a la baja del factor de emisiones, y se observa que en el 2021 el kWh generado ha emitido alrededor de 0.423 kg de CO₂eq, que es la cifra más baja de los últimos años, esto principalmente se debe al crecimiento de las energías renovables en participación de energía solar y eólica.

Otra parte de la reducción más significativa corresponde al periodo 2020 y 2021, y es debido al efecto de la pandemia COVID19, sin embargo, a medida que se regularicen las actividades se prevé que en 2022 y años subsecuentes este factor aumente de nuevo conforme al incremento del consumo eléctrico en el país y la ausencia de integración de nuevas energías renovables en la matriz energética.



Es necesario involucrar proyectos orientados a la reducción del CO_2 eq y por ello este proyecto va encaminado a proporcionar alternativas en el sector industrial y eléctrico, creando prototipos en energías renovables, más específicamente en la producción de vapor para procesos de media y alta temperatura para los sectores residenciales e industriales. Con relación a la Ley General del Cambio Climático (LGCC), una de las metas de contribución comprometida por México para el año 2030, es reducir un 22 % de sus emisiones de gases de efecto invernadero, con respecto a una línea base, aumentando a un 36 %, de acuerdo con la reforma a la Ley General del Cambio Climático⁴.

Objetivo

Analizar, diseñar y construir un colector solar de canal parabólico (CSCP) de media temperatura, para la producción de vapor de proceso (etapa 1).

Planteamiento del problema

La producción de vapor de proceso para los diferentes sectores (empresarial, residencial y doméstico), es de suma importancia para la región, ya que el estado de Colima (México) se encuentra en una zona con un promedio de radiación solar de 5.5 W/m^2 , y que es de fácil aprovechamiento, con un máximo de 13 h de sol durante junio y unas 11 h de sol en el mes de diciembre. Colima, cuenta con un promedio de radiación que es considerado alto, y dado que los usos de las fuentes

de energía renovables actualmente están siendo abordados a nivel mundial, es de vital prioridad dar soluciones con sistemas fototérmicos asequibles. Es por ello que el optimizar y analizar dispositivos que permitan concentrar la energía puede ser económicamente factible, ya que permite ahorrar el uso de electricidad o algún combustible de origen fósil.

Otro aspecto que se considera para este tipo de tecnologías es que se aborda el desarrollo de nuevos materiales, los cuales permiten una mayor eficiencia de la energía solar, además de estudiar nuevos modelos de producción y consumos que garanticen un crecimiento sostenible en el tiempo.

Las nuevas propuestas tecnológicas permiten la optimización de recursos, la reducción de material primas y el reprocesamiento de residuos, reciclándolos o dándoles una nueva vida para convertirlos en nuevos productos.

Se observa también con la propuesta de los CSCP la disminución de gases de efecto invernadero que pudieran emitir los sectores industriales, además de incentivar a los sectores residenciales y domésticos con los beneficios ambientales a largo plazo que se pudieran generar a través de estos proyectos.

Marco teórico

Se analizaron los CSCP, ya que se clasifican dentro de los sistemas de colección de gama media, alcanzando temperaturas entre 50 °C y 400 °C.⁵

Los desarrollos de esta tecnología se reportaron en el *11th Int. Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Technologies*, realizado en Zurich, Suiza. Se trata de un colector parabólico que ha sido desarrollado para varias aplicaciones y cuenta con un intervalo de temperaturas de operación entre 200 y 400 °C. La planta solar fototérmica dispuesta con esta tecnología está destinada para producir cientos de megawatts. Una característica de este concentrador parabólico es que cuenta con una estructura de soporte diferente a las convencionales, hecha de acero pregalvanizado, con bajo peso y baja torsión. Cada espejo está apoyado sobre la estructura en cuatro puntos sobre su parte posterior. Esto le permite doblarse dentro de la gama de su flexibilidad sin efecto sobre el foco⁶.

Los retos para el diseño de nuevas estructuras y concentradores se resumen así:

- Reducción de costo y mejora de rendimiento. Basado en las estimadas iniciales, parece ser posible una reducción de hasta un 20 % en el costo de esta tecnología.
- Desarrollo industrial. De forma que tome fuerza nuevamente esta tecnología y se aporte en su desarrollo una mejora significativa.
- Reducción del riesgo. Este riesgo debería ser reducido, resulta de la

incertidumbre en el costo, la tecnología y la disponibilidad del recurso, ventas, parámetros financieros, estabilidad política y ubicación

Los CSCP con recibidores tubulares al vacío, es la principal tecnología usada actualmente en plantas térmicas solares de potencia (pero es también usada en la generación de vapor, absorción, destilación de agua de mar)⁷.

Para la construcción es importante tomar en cuenta las ecuaciones que rigen el fenómeno térmico, a fin de obtener el factor de concentración y las eficiencias térmicas globales y ópticas.

La razón de concentración tiene un límite máximo que depende de si la concentración se hace en un concentrador circular o como un paraboloide. La razón de concentración máxima para un concentrador lineal se determina mediante la siguiente ecuación⁸:

$$C = \frac{W - D_{r,ext}}{\pi \cdot D_{r,ext}} \quad (1)$$

Donde:

- W Ancho del colector [m]
- $D_{r,ext}$ Diámetro externo del tubo recibidor [m]
- C Razón de concentración [adimensional]



Algunas clasificaciones muestran que los CSCP están entre algunos valores de concentración específicos:

Baja	$2 < C < 10$
Media	$10 \leq C < 100$
Alta	$C \geq 100$

La radiación solar absorbida incidente por unidad de área del tubo absorbedor es:

$$S_r = I_b \cdot \rho_0 \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot F_a \quad [W/m^2] \quad (2)$$

Donde:

α	Absorbancia [adimensional]
F_a	Angulo de incidencia modificado [adimensional]
γ	Factor de forma debido a la inexacta orientación [adimensional]
I_b	Irradiancia solar [W/m^2]
S_r	Radiación solar incidente absorbida por unidad de área [W/m^2]
ρ_0	Superficie reflectiva [adimensional]
τ	Transmitancia de la cubierta [adimensional]

Finalmente, la energía útil ganada por unidad de área del receptor \dot{q}_u , se expresa en términos del coeficiente convectivo local del receptor-ambiente $h_{conv r-amb}(T_r - T_{amb})$, la radiación incidente absorbida por unidad de área (S_r) así como los efectos por radiación existentes en el ambiente. ($h_{rad r-sky}(T_{amb}, T_{sky})$)

$$\dot{Q}_u = C \cdot S_r - h_{conv r-amb}(T_r - T_{amb}) - (h_{rad r-sky})(T_{c2} - T_{sky}) \quad (3)$$

El rendimiento del concentrador solar se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$h = \frac{\dot{Q}_u}{A_c I_s R_b} \quad (4)$$

Dónde:

\dot{Q}_u	Energía útil ganada [kW]
R_b	Factor geométrico [adimensional]
I_s	Irradiación útil [kW/m^2]
A_c	Superficie del receptor [m^2]

Para determinar el rendimiento óptico pico del CSCP, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_{opt} = \rho \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot \quad (5)$$

Donde:

ρ = Reflectividad de la superficie del colector

α = Absorbancia de la superficie selectiva

τ = Transmitancia de la cubierta de cristal

γ = Factor de forma (debido a las imperfecciones de los espejos y los posibles errores de seguimiento solar.)

Metodología

Este trabajo consta de dos etapas: la primera parte (es esta) se encamina al análisis, diseño y construcción del CSCP; la segunda corresponde a la puesta en marcha, experimentación y la validación de modelo numérico versus experimentación. Aclarado lo anterior, se describe la metodología a seguir de esta primera parte.

Con base en las ecuaciones analizadas en la sección anterior, se diseñan componentes principales que involucran al CSCP, los cuales son:

- Ubicación, orientación
- La estructura soporte
- Concentrador de canal parabólico
- Acoplamiento
- Funcionamiento

Ubicación y orientación

Razón social: Universidad Tecnológica de Manzanillo (UTEM)

Ubicación: Camino hacia Las Humedades s/n, Salagua, C.P. 28,869 Manzanillo, Colima, Méx.

Mapa:



Figura 2. Mapa del sitio (UTEM), lugar de construcción del CSCP, con una ubicación geográfica 19.1399, -104.3141° [Google, s.f.]⁹

- Ubicación geográfica: latitud 19.1399, y longitud -104.3141
- Estado: Colima, México
- Irradiación solar promedio 5.5 kW/m²

La estructura soporte

El objetivo de la parte estructural del colector es darle rigidez al conjunto de elementos que lo integran. La mayoría de las estructuras comerciales son metálicas y en otros casos de algún perfil de aluminio, sin embargo, hay investigaciones en las cuales se pueden utilizar otros materiales, principalmente plásticos y fibras de vidrio.

Una de las principales técnicas para la construcción de la estructura es la de soporte central y la espacial.

En este caso se optó por una estructura de diferentes tubos PTR (perfil tubular rectangular) y el tubo de soporte central. A continuación, se muestra el diseño que se llevó a cabo en el software CAD SolidWorks¹⁰.

La base estructural está construida por un PTR de 10.2 cm de acero, calibre 16, con una altura de 1.25 m, los lados están unidos a un PTR de 5.1 cm calibre 18, con una inclinación de 45° para darle rigidez y soporte a la estructura. Obsérvese la Figura 3, en donde se muestra el previo de la base principal.

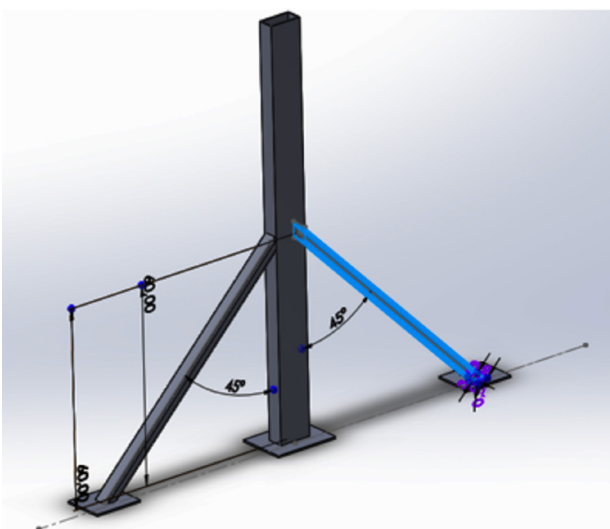


Figura 3. Base estructural, diseño en CAD. Fuente: elaboración propia

Esta primera base se utiliza como un prototipo, y se usan un total de 4 estructuras similares, que son las que formarán parte de la estructura principal del montaje del colector solar. La distancia entre cada una de ellas fue de 1.75 m, para dar una longitud total del colector de 7 m. La parte intermedia de la estructura va unida a un PTR cuadrado de 2.5 cm, calibre 18, a una altura de 70 cm a partir del piso, esto con el objetivo de darle rigidez a la estructura en el eje paralelo al piso, como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Estructura principal del CSCP con una longitud total de 7 m. Fuente: elaboración propia

En la base principal se le coloca un cuadro de solera de 15 cm x 7.5 cm que va soldado en el extremo de la base; además, para reforzar, se colocan 2 nervios de 9 cm x 7.5 cm, para darle solidez a esta base. En esta base se instaló una de las chumaceras, la cual, en conjunto con los 4 restantes, son las que proporcionan junto con el eje, el movimiento radial al canal parabólico. En la Figura 5 se puede observar la base con los nervios, todos ellos soldados a la base. Este mismo procedimiento se replica en el otro extremo de la base principal.



Figura 5. Base con nervios para el soporte de las chumaceras. Fuente: elaboración propia

El siguiente paso fue colocar el eje central que dará torsión al canal parabólico, el cual consta de un tubo de 2.5 cm de diámetro de acero al carbón, que va soldado a un PTR cuadrado de 3.8 cm, este a su vez va unido a otro tubo de 2.5 cm de diámetro y finalmente se conecta a la siguiente chumacera. Este proceso se repite en cada sección, hasta terminar los 7 m de longitud del colector (Figura 6).

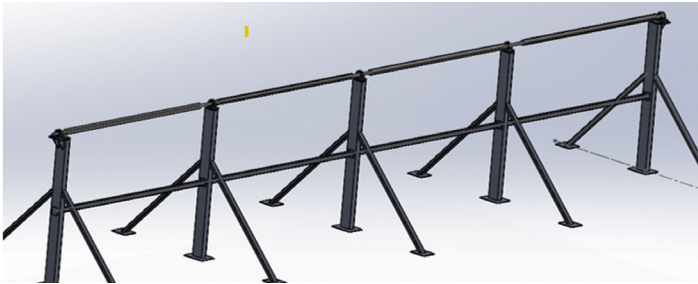


Figura 6. Tubo central de torsión. Fuente: elaboración propia

Para el siguiente paso, se montaron las 11 estructuras (Figura 7) en el eje central, las cuales son las que soportan la superficie reflectiva (lámina de aluminio). Las estructuras tienen la forma de una parábola y están completamente alineadas para que la lámina de aluminio al ser colocada también forme la superficie reflectiva en forma de parábola, y es la responsable de fungir como el reflector del CSCP. Es importante recalcar que las 11 estructuras estén cuidadosamente alineadas, para que exista un mínimo error a la hora de colocar la superficie reflectiva. Cada estructura (Figura 7) está hecha con un PTR cuadrado de 2.5 cm, la cual cuenta con 9 tubos del mismo calibre, distribuidas a lo largo de la parábola. Estas secciones fueron soldadas cuidadosamente, con la finalidad de darle rigidez a la pieza, las dimensiones que se muestran en la siguiente figura están en centímetros.

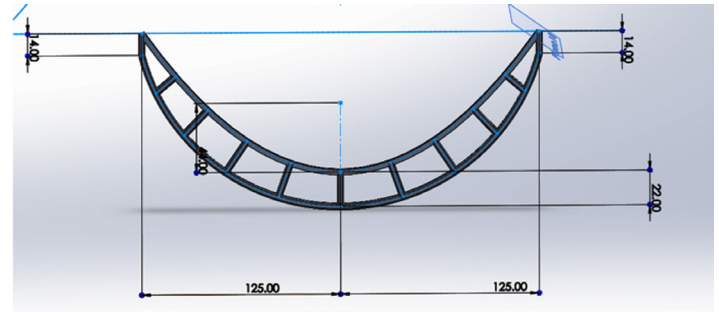


Figura 7. Diseño de la estructura de PTR en forma de parábola. Fuente: elaboración propia

Acoplamiento

Las 11 estructuras son distribuidas a lo largo del soporte de torsión, en la Figura 8 se muestra el acoplamiento.

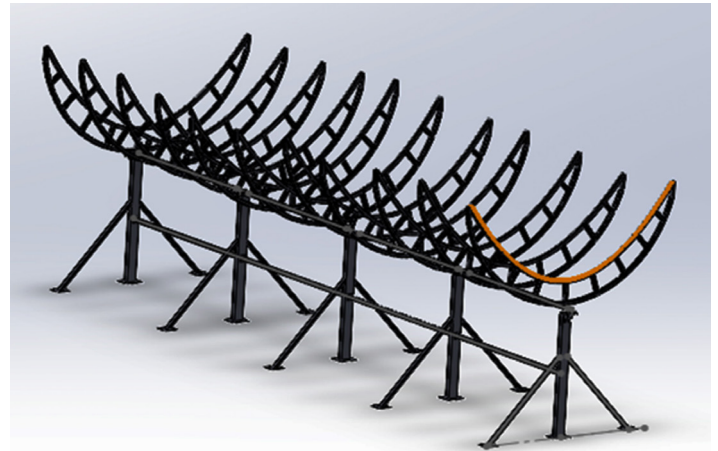


Figura 8. Base final con las 11 estructuras acopladas al eje de torsión. Fuente: elaboración propia

Concentrador de canal parabólico

El concentrador de canal parabólico es de vital importancia, ya que es el responsable de concentrar los rayos de sol en el tubo receptor. Para su selección, existe una gama de materiales que pueden utilizarse, por ejemplo: acero inoxidable 316, películas de plata o aluminio depositadas sobre algún soporte o algún reflector más grueso, chapa metálica, aluminio tipo espejo, etc. La selección del material va a depender del costo y la calidad de los materiales, además de tomar en cuenta parámetros ópticos como la alta reflectancia en el espectro UV y visible, así como la durabilidad y resistencia. Para este prototipo se optó por utilizar una lámina de aluminio tipo plata espejo de calibre 23. El aluminio tiene la ventaja de utilizar una capa de óxido, el cual tiene la capacidad de proteger del ambiente, al mismo tiempo de ser flexible, y proveer de una reflectividad del 89 %. En la Figura 9, se observa el acoplamiento de la lámina de aluminio a la estructura principal.

Otro aspecto a considerar es el área de apertura del concentrador, el cual representa una amplia zona que está expuesta al viento, de modo que las cargas de viento resultantes pueden ser considerables para poder modificar el foco y por lo tanto disminuir la eficiencia. En este caso el colector cuenta con un área de apertura de 16 m².

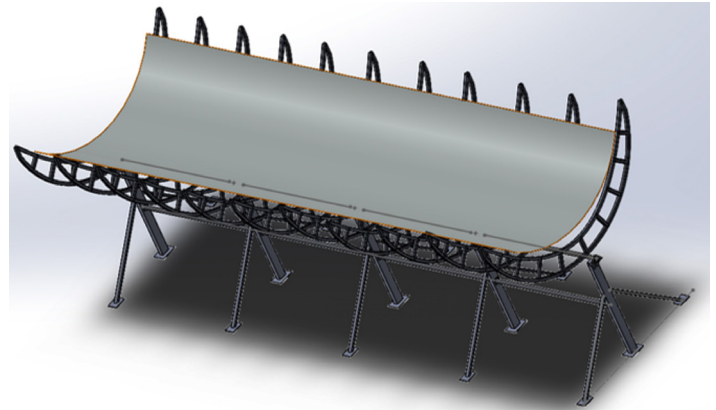


Figura 9. Acoplamiento de toda la estructura y concentrador de aluminio.
Fuente: elaboración propia

Funcionamiento

Funcionamiento del colector solar de canal parabólico (CSCP)

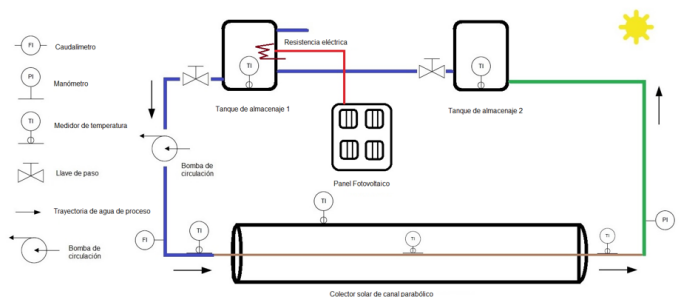


Figura 10. Diagrama de funcionamiento del CSCP y principales componentes. Fuente: elaboración propia

La Figura 10 muestra un esquema general del proceso adoptado en este proyecto, que a su vez cuenta con las siguientes características:

Base estructural principal

- Captador cilíndrico parabólico, que es una tubería de cobre tipo M, para conducción de agua potable de 2.5 cm, con una pintura selectiva negra.
- Superficie reflectante de aluminio. Refleja la radiación solar, concentrándola sobre un tubo absorbente, el material es una lámina de aluminio tipo plata espejo, calibre 23.
- Tanque de suministro 1. Fuente de agua que va del tanque al concentrador. Suministra el fluido que circula dentro del tubo absorbente.
- Tanque de almacenamiento 2. Receptor diseñado para contener el fluido caliente, procedente del concentrador.
- Panel fotovoltaico para suministro de energía a la resistencia y a los motores del CSCP.
- Bomba de flujo tipo ACQ-15 con una presión máxima de 5 Bar.
- El termopar tipo K ha sido calibrado y configurado en tarjetas de adquisición y colocado en el adquisidor de datos Keysight modelo DAQ970A, para que realice la medición de temperatura a intervalos de 5 min.
- PC con el software para la lectura y captura de los datos.

El proceso de funcionamiento comienza con el precalentamiento de la resistencia en el tanque número 1, el agua adquiere una cierta temperatura que pasa posteriormente a la bomba, la cual suministra el fluido a una razón de 0.5-5 l/min al colector solar. En el colector solar pasa a través del tubo receptor, adquiriendo la temperatura a lo largo de este y dependiendo de la radiación solar en ese momento. Posteriormente el agua caliente o vapor de agua, es utilizada para algún proceso, en este caso se almacena en el tanque número 2. Se toman diferentes mediciones de temperatura con los termopares previamente configurados, así como los puntos propuestos. Para la medición de temperaturas se utilizan termopares tipo K, configurados en diferentes puntos del sistema, y que mediante el adquisidor de datos y una PC se recaban datos y se analizan.

Las características del equipo que se ha configurado para el diseño y adquisición de datos, son las siguientes: Core i5, 16 GB RAM, tarjeta gráfica Nvidia GeForce GTX 1650, 4 Gb DDR5, obsérvese la Figura 11.



Figura 11. Adquisidor de datos DAQ970A y PC para captura de datos. Fuente: elaboración propia



El cable termopar tipo K (Figura 12) es el conductor formado de hierro y cromel, fabricado para la extensión de sensores de hasta 700 °C, que es conectado a la tarjeta de adquisición de datos y esta a su vez es insertada en el DAQ DAQ970A para su funcionamiento. Estos termopares van colocados en los diferentes puntos como lo indica el diagrama de proceso (Figura 10) para la toma de temperaturas.



Figura 12 Cable termopar tipo K AWG 24.
Fuente: elaboración propia

Resultados

Datos geométricos y características generales

En la Tabla 1 se muestran las características principales de diseño del CSCP de acuerdo con un análisis previo a las ecuaciones termodinámicas.

Tabla 1. Parámetros geométricos y características. Fuente: elaboración propia

Características	Unidad	Material
<i>Superficie reflectiva</i>	2.4 m x 7 m	Aluminio tipo plata espejo (reflectividad 0.89)
<i>Longitud del receptor (L)</i>	7 m	Tubo de cobre
<i>Tubo transparente</i>	7 m	Borosilicato
<i>Fluido de trabajo</i>	0.7 l/min	Agua
<i>Distancia focal (F)</i>	0.44 m	
<i>Díámetro interno del receptor (Dr, int)</i>	27.6 cm	Tubo de cobre
<i>Díámetro externo del receptor (Dr, ext)</i>	26.5 cm	
<i>Conductividad térmica del tubo receptor (Kr)</i>	54 W/m K	Tubo de cobre
<i>Relación de concentración (C)</i>	22.42	
<i>Absorción del receptor (α)</i>	0.906	
<i>Emisividad del receptor (ξ_r)</i>	0.14	
<i>Emisividad de la cubierta (ξ_c)</i>	0.93	
<i>Transmitancia de la cubierta de vidrio (τ)</i>	0.95	
<i>Reflectividad superficial reflejada (ρ_o)</i>	0.93	
<i>Factor de forma (γ)</i>	0.92	
<i>Ángulo de inclinación (θ)</i>	0	
<i>Cambio de ángulo de incidente (Fa)</i>	1	
<i>Eficiencia óptica (η_{op})</i>	0.736	
<i>Presión atmosférica (Patm)</i>	86 KPa	
<i>Área de apertura</i>	16 m ²	

Resultados de la construcción

En esta parte se muestran los resultados del CSCP que se ha construido, en cada una de sus etapas de diseño, tomando en cuenta el análisis de las ecuaciones y diseño en CAD.

En la Figura 13 se muestra la preparación del lugar. Se analizó el sitio y se observó el terreno. Se colaron 4 bases de concreto en la parte de los extremos, ya que no existían, y son las que fungieron como cimiento, y sobre ellas fueron colocados los 4 soportes de la estructura principal.



Figura 13. Cimiento para la colocación de la base estructural del CSCP. Fuente: elaboración propia

El siguiente paso fue realizar la estructura de PTR en forma de parábola, para lo cual, se utilizó una máquina de enrolado de metales, esto con el fin de darle la forma correcta al PTR de 2.5 cm. Posteriormente se cortaron diferentes PTR a diferentes medidas para las secciones de acuerdo con el diseño mostrado en la Figura 7. Las estructuras fueron soldadas y la forma final se pueden observar en la Figura 14.



Figura 14. Bases de forma de parábola hechas con PTR de 2.5 cm C18. Fuente: elaboración propia

Se montó la parte de la estructura base principal y se realizaron las sujeciones laterales con un ángulo de 45° , con anclas expansivas de 1.58 cm. El mismo procedimiento se realizó con las 5 bases principales. Además, se colocó el soporte y la chumacera en cada estructura base (Figura 15).



Figura 15. A) Estructura base del CSCP. B) Colocación de las chumaceras en las bases restantes. Fuente: ambas de elaboración propia

En la Figura 16 se preparó la estructura para colocar el tubo de torsión, alineado al eje central, este eje de torsión consta de un tubo, que va conectado a la chumacera de 2.5 cm de diámetro, con un largo de 5 cm, acoplado a un PTR de acero de 3.8 cm, calibre 18.



Figura 16. A) Estructura del eje de torsión acoplado a la chumacera. B) Acercamiento a la estructura. Fuente: elaboración propia

El siguiente paso fue colocar las estructuras base de la parábola, un total de 11 estructuras fueron colocadas sobre el tubo de torsión y posteriormente fijadas. Estas se fijaron mediante una placa de 10 cm x 7.5 cm (solera de acero al carbón), entre la estructura de la parábola y el tubo de torsión. El resultado se puede observar en la siguiente figura:



Figura 17. Estructura de la parábola, acoplada al eje de torsión. Fuente: elaboración propia

Enseguida se colocó la lámina de aluminio sobre la estructura de la parábola, la cual se realizó por secciones, para esto se cuidó que estuvieran alineadas a paño cada una de las estructuras, colocando una cuerda en cada extremo y verificando que la cuerda (nivel) tocara cada una de las estructuras. Una vez alineadas se colocó la lámina sobre la estructura, la cual se fijó con remaches de 0.31 cm y se verificaron las sujeciones. En la siguiente figura 18 se observa el montaje final.



Figura 18. Prototipo final del CSCP. Fuente: elaboración propia

Finalmente, el último paso fue la colocación del sistema hidráulico del CSCP. Esto conlleva la instalación de las tuberías, bombas, medidores de flujos y medidores de presión. En la Figura 19 se muestra el flujómetro y la bomba instalada de acuerdo con el diagrama de proceso (Figura 10), en la parte de entrada del fluido se ha optado por colocar tubo plus hidráulico de 2.5 cm de diámetro.



Figura 19. Instalación hidráulica. Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2 se muestran las características tanto de los materiales empleados como de la instrumentación.

Tabla 2: Características de instrumentación y tuberías. Fuente: elaboración propia

Instrumento/material	Características
Tubería de alimentación	Tubo plus hidráulico de 2.5 cm
Flujómetro	Medidor rotámetro para agua de 1-5 l/min
Manómetro	Medidor de glicerina para alta presión, escala dual 1000 Psi (70 kg/cm ²), caja de acero inoxidable de 6.35 cm.
Bomba	Bomba presurizadora Shimge Aqc-15 1/7 HP, diámetros de entrada y salida de 2.5 cm.
Termotanque	Tinaco 600 L, tricapa vertical polietileno
Termopares	Termopar tipo K Calibre 24 AWG
Tubo absorbedor	Tubería de cobre tipo M, para agua, de 2.5 cm de diámetro

Otro parámetro que se analizó fue la inclinación del colector solar. Para captar la mayor cantidad de energía, el colector debe inclinarse dependiendo de la posición geográfica del lugar de instalación, y debido que nos encontramos en la parte norte del hemisferio, el colector debe inclinarse hacia al sur, más específicamente con respecto a la latitud del lugar.

Para este caso, el colector fue orientado a 19.1° hacia el sur. Cabe mencionar que, para este primer caso de estudio, se ha utilizado esta orientación (norte a sur), y quedaron fijos los ejes de este a oeste, de manera que esta configuración permite recibir la mayor cantidad de radiación solar sin un seguimiento mecánico.



Discusiones y trabajos futuros

La realización del prototipo propuesto del CSCP se ha llevado a cabo con éxito, pero se han tenido algunos inconvenientes a la hora de la construcción debido al montaje, sin embargo, con las adecuaciones necesarias y el diseño se ha configurado y puesto en marcha adecuadamente.

En cuanto a la implementación, de manera general este tipo de colectores se puede emplear en la industria a gran escala, o para el sector residencial de media temperatura, sin embargo, se ha observado que de inicio se requiere una fuerte inversión de capital, y es importante tener en cuenta el mantenimiento (en el tubo de torsión, engrase de las chumaceras, la limpieza de reflector, revisar el eje focal debido a deformación de la estructura). No obstante, este tipo de dispositivos pueden alcanzar una vida útil de 20 años. En este caso el prototipo desarrollado tiene un costo aproximado entre 55 mil a 65 mil pesos mexicanos, con las características mencionadas.

Debido a que se utilizaron materiales convencionales como PTR de diferentes calibres, el costo aún es considerado alto, comparado con los colectores ya comerciales como los del proyecto de Agua Prieta II en Sonora, que genera 14 MW, los cuales son de acero inoxidable, con placas de aluminio, entre otras mejoras, con materiales de otra calidad.

Con relación a los resultados, se observan varias mejoras para trabajos futuros sobre esta primera etapa. Una de las principales es la automatización para el seguimiento del sol, esto conlleva la colocación de dos motores en el eje de torsión, para un seguimiento automático, con la programación de un algoritmo mediante las ecuaciones del tiempo. También se pretende aumentar

la eficiencia térmica global, mediante la implementación de un panel fotovoltaico, el cual va alimentar a 2 motores. La energía generada en exceso, servirá como fuente para de calentamiento de una resistencia, con el objetivo de aumentar el gradiente de temperatura del fluido en el termotanque inicial.

Cabe mencionar que este proyecto está en su primera etapa de diseño y construcción, y no se muestran resultados de la puesta en marcha. En la siguiente etapa se mostrarán los resultados de las temperaturas máximas alcanzadas, así como la validación con el modelo numérico simulado.

Al ser una tecnología de media temperatura se pretende realizar estudios con diferentes fluidos de trabajo y mejorar la transferencia de calor para el aprovechamiento en sistemas de refrigeración.

Conclusiones

Los materiales que se han utilizado para economizar son los más comerciales como PTR y solera de diferentes tamaños, principalmente son de acero al carbón, esto le permite dar rigidez al CSCP, pero le añade peso, sin embargo, no afecta al funcionamiento del mismo, pero sí aumenta la fuerza de torsión a la hora del seguimiento que el colector realice.

El tubo receptor se ha pintado con un material selectivo negro, lo que permite aumentar la absorción del calor. Los cálculos teóricos muestran una eficiencia térmica global del 46 %. Con relación al factor de concentración logrado, para este diseño y con un área de apertura de 16 m², fue de $C = 22.46$, lo que permite al foco alcanzar una mayor concentración de la radiación solar directa.

Este proyecto permitió realizar el diseño y hacer una pre visualización del desarrollo de la estructura, así como el análisis de materiales utilizados en el colector, por ejemplo: PTR de acero de la estructura de diferentes tamaños, también la rigidez, la ductilidad de las láminas de aluminio, y la importancia del foco cuando se tiene una estructura de estas dimensiones. Si la estructura principal a base de PTR se añade demasiado peso, este puede desplazar el foco y por ende disminuir el factor de concentración y a su vez disminuir su eficiencia térmica. También se identificaron los principales parámetros de diseño de este tipo de colectores los cuales son: factor de concentración, área de apertura, dimensiones, y diseño del tubo de torsión.

Agradecimientos

Este proyecto pudo ser posible bajo el programa de PRODEP 2021 Incorporación de nuevos PTC, de profesores de la Universidad Tecnológica de Manzanillo; también se agradece el préstamo del taller de la carrera de mantenimiento para la realización de este proyecto, y la participación del Dr. Adrián Tintos, incorporado a esta misma institución .

Referencias

1. International Renewable Energy Agency IRENA [s. f.]. [Consulta: 20/12/2021]. Disponible en: <https://www.irena.org/>
2. FORDECYT. Colector de canal parabólico. [En línea]. s. f. Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. [Fecha de consulta: 19 de marzo de 2022]. Disponible en http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/colectorDeCanalParabolico_1.html
3. Comisión Reguladora de Energía. Certificados de Energías Limpias. Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional, años 2017 – 2021. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en <https://www.gob.mx/cre/acciones-y-programas/certificados-de-energias-limpias-51673>
4. Ley General de Cambio Climático. (LGCC). Diario Oficial de la Federación. [En línea] 2012. [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2021]. Disponible en <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
5. KALOGIROU, Soteris A. Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science. Vol. 30 (3): pp. 231–295. 2004.. ISSN: 3601285.
6. GEYER, Michael, et al. EUROTROUGH-Parabolic trough collector developed for cost efficient solar power generation. En 11th. International symposium on concentrating solar power and chemical energy technologies. 2002. p. 04-06.
7. GARCÍA-VALLADARES, O. y Velázquez, N. Numerical simulation of parabolic trough solar collector: Improvement using counter flow concentric circular heat exchangers. International Journal of Heat and Mass. Enero 2009.
8. DUFFIE, J. A. & Beckman, W. A. Solar engineering of thermal processes. 2006. John Wiley & Sons.
9. GOOGLE. Ubicación de la Universidad Tecnológica de Manzanillo. [En línea]. s. f. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.google.es/maps/place/Universidad+Tecnol%C3%B3gica+de+Manzanillo/@19.1393004,-104.3164349,19z/data=!4m5!3m4!1s0x8424d64c16a690bd:0x14d49ae4c320b692!8m2!3d19.1397486!4d-104.3166256>
10. SOLIDBI. SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve. [E línea]. s. f. [Fecha de consulta: 14 de enero de 2022]. Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/> Licencia estándar Solidworks 2018, número 9710 0228 4540 6074 S9QH H5FG

Fecha de recepción

09/03/2022

Fecha de aceptación

26/09/2022

Fecha de publicación

31/01/2023



Desarrollo de una metodología de medición multifactorial de la productividad por fases

Development of a multifactorial measurement methodology of productivity by phases

Francisco Javier Almanza Robles, Emmanuel Alejandro Hernández Robles y Brayan Daniel Guzmán Ambriz /

Universidad Tecnológica de Salamanca

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de una nueva metodología de medición de productividad que puede ayudar al sistema productivo mexicano. Durante los últimos años esta ha sido bajadores y en la competitividad del país. La investigación cuantitativa mediante fuentes secundarias confirmó su bajo nivel; encontró que principalmente la falta de capital humano, capital físico y cambios tecnológicos la favorecen y permitió la creación de la metodología; la cual se aplicó usando datos de la empresa BRP Servicios Integrales, obteniendo una productividad de 59.5 % en comparación con el 66 % determinado por la compañía.

Palabras clave: productividad, factor, metodología, sistema productivo.

Abstract

This paper presents the development of a new methodology for measuring productivity that can help the Mexican productive system. During the last years, productivity has been low, reflecting in workers' wages and in the country's competitiveness. The quantitative research through secondary sources confirmed its low level; it found that mainly the lack of human capital, physical capital and technological changes favor it and allowed the creation of the methodology; which was applied using data from the company BRP Servicios Integrales, obtaining a productivity of 59.5 % compared to the 66 % determined by the company.

Keywords: productivity, factor, methodology, productive system.



Introducción

Durante los últimos años, el crecimiento de la economía mexicana ha aumentado, pero el indicador de productividad laboral se ha mantenido bajo, esto se refleja en el salario, en la productividad de las empresas y la competitividad del país. Aunque se mide la productividad, esto no ha permitido solucionar su bajo nivel, por lo que se requiere una metodología que permita determinar sus causas, medirla y remediar la situación. Para ello se hace necesario revisar tanto información documental como datos existentes, a fin de desarrollarla

Objetivo

Desarrollar una metodología de medición de la productividad mediante el análisis de los factores que lo causan para mejorar el sistema productivo mexicano.

Planteamiento del problema

La productividad se define como la relación entre la cantidad de lo que se produce y la cantidad de los insumos utilizados en dicha producción. La medición se clasifica en aquellas que usan un factor (un producto y un insumo) y las que utilizan múltiples factores (un producto y varios insumos). Los factores comúnmente utilizados son el capital y el trabajo¹.

Y según lo anterior, una fórmula a utilizar para medir la productividad sería:

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Insumos\ utilizados} \times 100 \quad (1)$$

Para determinar las variaciones de la productividad en el tiempo se utilizan índices. Se manejan comúnmente cuatro índices: Productividad laboral, Productividad del capital, Productividad Total de los Factores y la metodología KLEMS (que incorpora, además del trabajo y el capital, los insumos materiales, los servicios y la energía)¹. Aunque los índices son útiles, tienen limitaciones. El factor trabajo no es homogéneo, pues cada trabajador tiene una carga diferente, incluyendo sus atributos personales. Y en esas mediciones no se puede establecer si un cambio en la producción se debió a un aumento o disminución del capital u otros factores¹.

Método de trabajo

Se usará la metodología cuantitativa mediante una investigación de fuentes secundarias haciendo una revisión bibliográfica de los últimos 20 años. Después se analizará la información encontrada para determinar las posibles causas de la baja productividad y con esas causas se realizará una propuesta de medición.



Revisión bibliográfica

Primero se revisaron artículos sobre productividad y sus efectos, encontrándose lo siguiente: el 85 % de los periodos de bajo crecimiento económico de 74 países entre los años 1950 a 1990 se explican por una baja de su productividad. México es el primer lugar en horas de jornada laboral anual de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ya que dedica 2148 horas al año; en cambio, los demás países de la OCDE dedican 1726 horas al año².

Esto podría interpretarse, en teoría, como algo positivo, pues al tener más horas de producción provocaría una mayor productividad; sin embargo, esa interpretación es incorrecta, como lo muestra un estudio a 43 países, donde se observó que la productividad laboral en México es de las 12 más bajas, y la del país es menos de la mitad que el promedio de los países estudiados³. Además, el valor de lo producido por la OCDE por hora de trabajo por persona es de 54.8 dólares, pero en México es de 21.6 dólares⁴.

El nivel bajo de productividad aumenta según el tipo de empresa. Desde 1999, las mipymes bajaron un 6.5 % anual; en las grandes empresas creció un 5.8 % anual. Esto es importante, ya que como se muestra en los resultados de la Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE)⁵ del año 2018, en México existen 4 169 677 empresas, de las cuales 97.3 % son mipymes y participan con el 63 % del empleo y el 35 % de la Producción Bruta

Total⁶. Y del total de mipymes, solo el 17.8 % generan valor añadido; esta contribución es considerablemente baja en comparación con el resto de los países miembros de la OCDE⁷.

También baja según el estado del país. La productividad laboral en 2018 tuvo una reducción anual de 7.9 % en Aguascalientes; de 4 %, en Guanajuato y de 3.2 % en Querétaro⁷. Esto contrasta con los siguientes datos: la Ciudad de México, Estado de México, Jalisco, Nuevo León y Guanajuato han generado casi el 60 % del PIB en la última década; pero ese crecimiento del PIB se explica por la expansión del empleo y no por la productividad⁸.

Análisis de la información documental

Del análisis de los artículos se muestra que la productividad en México es baja, no afecta igual a todos los estados y afecta más a la mipymes.

Esto ocurre porque las empresas generan sobreproducción y desperdicios aun sin tener demanda, generando inventarios. Se suma los productos defectuosos que requieren reprocesos, movimientos, esperas, demoras y transportes innecesarios. Contribuye a esto la falta de talento y capacitación, incluyendo a los proveedores y su eficiencia para surtir la mercancía⁹. También en la revisión se encontraron tres factores que han favorecido y mantenido la baja productividad labora¹⁴:

- Capital físico. Se refiere a la poca inversión de capital para adquirir máquinas y herramientas especializadas con el objetivo de optimizar los procesos de producción y aumentar el valor total de lo producido⁴.

- **Capital humano.** Se desaprovecha porque la población no tiene el nivel académico y experiencia requeridos y eso hace que se dediquen al empleo informal¹⁰, junto con la desigualdad laboral de género y la falta de inclusión de la población en general. Esto se explica como un patrón en todos los ámbitos en la vida del país¹¹.
- **Cambios tecnológicos.** Los avances en el conocimiento y la innovación son fundamentales para aumentar la productividad laboral. Desgraciadamente, para el gobierno mexicano no es prioridad, pues asigna menos de 1 % del PIB al año desde el año 2018 (0.43 % en promedio durante el último sexenio), mientras que países desarrollados destinan porcentajes mayores a 2.5 %.
- Por último, el rezago de la productividad se compone a su vez de la suma de los rezagos regionales, por lo que se deben solucionar mediante la generación de infraestructura física, garantizar la protección de los derechos de autor y de la propiedad intelectual, impulsar a las empresas altamente tecnológicas y la cooperación entre estados, sobre todo con los del sur del país¹².
- A partir de esta información se estructuró en un sistema de producción ineficiente con una serie de causas que en conjunto provocan la baja productividad. Estas causas se representan en un diagrama de tortuga que se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Estructura de producción ineficiente. Fuente: elaboración propia



Identificadas las causas, se clasifican de acuerdo con los tres factores que han influido en la baja productividad. En la Tabla 1 se muestran dicha clasificación, junto con las veces que son mencionadas en los artículos revisados y si es posible modificar esta causa

Tabla 1. Causas clasificadas en factores de influencia. Fuente: elaboración propia

CAUSA	CONSECUENCIA	MENCIONADA	MODIFICABLE
Capital físico	Falta de infraestructura (carreteras, comunicaciones, etc.)	IIII II	No
	Falta de legislación (seguridad, corrupción e impunidad y apoyos económicos)	IIII III	No
	Nacionales, extranjeras e internacionales (NOM, ASTE, ISO, etc.)	I	Si
	Instalaciones (Inadecuadas, en cantidad insuficiente, etc.)	IIII I	Si
	Materia prima, entregas tardías, requisitos del cliente, etc.	III	Si
	Financiamiento	IIII	Si
Capital humano	Preparación académica	IIII III	Si
	Falta de salud I		Si
	Experiencia laboral inadecuada	IIII	Si
	Clima laboral	I	Si
	Atención al cliente	I	Si
	Proceso de producción (cuellos de botella, reprocesos, piezas rechazadas, etcétera)	IIII	Si
	Satisfacción del personal trabajador	III	Si
	Discriminación laboral (de género, discapacidad, religión, raza, condición social, salarial, etcétera)	IIII	Solo falta aplicar las legislaciones.
Cambios tecnológicos	Falta de innovación, tecnología y de ideas nuevas.	III	Si
	Máquinas y herramientas adecuadas para hombres, mujeres y discapacitados, etcétera.	II	Si

Con los datos de la Tabla 1, se realizó un diagrama de Pareto que se muestra en la Figura 2. Se agruparon las causas en capital humano, capital físico y cambios tecnológicos. Tomando los factores modificables de capital humano y una parte de capital físico, se pueden reducir las causas de la baja productividad en un 80 %.

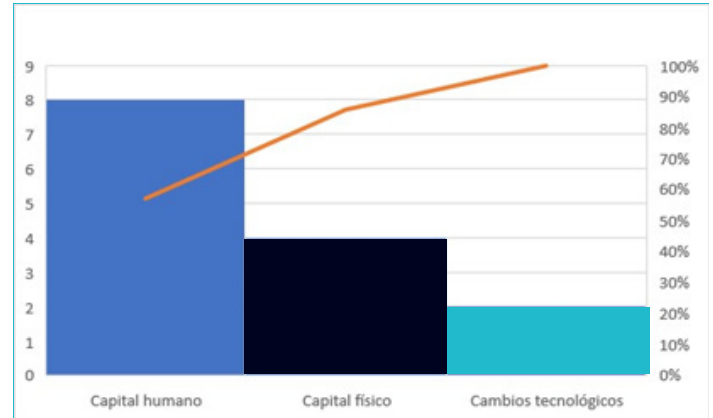


Figura 2. Causas de la baja productividad. Fuente: elaboración propia

Propuesta de metodología

Con los datos analizados, y tomando como base el diagrama de la Figura 2, se desarrolla una nueva metodología de medición, que se muestra en la Figura 3.

Esta nueva metodología se divide en cuatro fases de implementación. Estas fases se determinaron sobre la base del análisis de la información documental en donde se hace referencia a que cada causa suma a las anteriores para que la productividad baje, y dejando la estructura de sistema de producción del diagrama de la Figura 1. Las fases están en esa secuencia por las siguientes razones:

- **Proveedores:** según el análisis, hay proveedores que tienen poca capacitación, poca eficiencia al surtir los materiales y es fundamental que se tengan los insumos correctos y a tiempo, de lo contrario no se podrá producir.

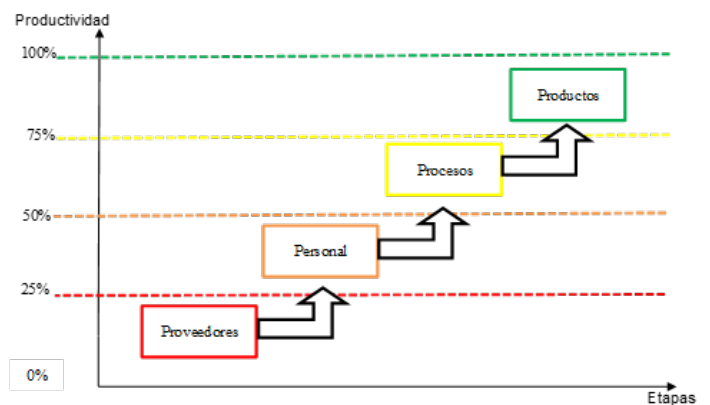


Figura 3. Nuevo modelo de medición de productividad. Fuente: Elaboración propia



- Personal: se encontró que hay poco talento y capacitación en la fuerza laboral, esto genera problemas de producción.
- Procesos: debido a que los procesos no están definidos correctamente, se generan sobreproducción, desperdicios y retrabajos.
- Producto: las tres fases anteriores, al no estar bien, provocan que el producto no cumpla con los requerimientos que solicita el cliente.

Cada fase aportaría un 25 % del total de la productividad máxima que podría generar una empresa. Con base en lo anterior, el funcionamiento de la metodología sería el siguiente:

1. Se comienza con la fase de Proveedores. Se hace una revisión de lineamientos, se calcula el nivel de cumplimiento, ese valor es la eficiencia del lineamiento. La forma de calcularse puede usar encuestas o datos de procesos.
2. Hecho esto, se determina si cada lineamiento cumple o no con un valor de referencia. Luego se suman los lineamientos que cumplan con el criterio y se divide entre el total de lineamientos. Este dato sería la eficacia de la fase.
3. Luego se determinaría la productividad usando la fórmula 2:¹³

4. Hasta que no se cumpla con todos los lineamientos de la fase de Proveedores, se puede decir que estos no tienen las mejores condiciones para hacer su labor, haciendo que la productividad de todo el sistema productivo sea baja. Este último paso garantiza que se vayan cumpliendo cada lineamiento.

Con base en la fórmula 2, se puede estimar cómo aumentar la productividad en tres escenarios posibles¹³: mediante la optimizando de los insumos, al tiempo que se mantiene la producción constante; o incrementar la producción, manteniendo los insumos igual; y, por último, optimizar los insumos y aumentar la producción. Un ejemplo de estos requisitos se muestra en la Tabla 2, y son aplicables a cada nivel de productividad.

$$Productividad = \frac{Eficiencia \times Eficacia}{1} \times 100 \quad (2)$$



Tabla 2. Lineamientos por nivel de productividad.
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2 se registraron datos de la empresa BRP Servicios integrales, de su área contable¹³, se usarán como ejemplo para mostrar el método propuesto.

Proveedor					
Lineamientos	Descripción	Criterio	Cumple	Cumple	Eficiencia
Equipamiento	Máquinas, equipo, herramientas e instrumentos necesarios	100 %	Sí	✓	100 %
Insumos	Materia prima, tiempos, requisitos y especificaciones	100 %	Sí	✓	100 %
Preparación	Nivel académico y experiencia	100 % 18.64 impuestos	No	✓	73 % 13.64 impuestos
Calidad	Satisfacción del cliente, insumos, salud, clima laboral, producto a entregar	Impuestos pagados ≥ 18.64	Sí	✗	73 % (13.64)
Legislación	Leyes que aplican	100 %	Sí	✓	100 %
Normativas	Normas y métodos que aplican	100 %	Sí	✓	100 %
Inclusión	Igualdad de derechos y obligaciones.	No hay criterio	No se sabe		
Problemáticas	Tipo, descripción, seguimiento y solución de problemas	Jornada ≥ 8 hr.	No	✗	90 % (7.2 hr)
Tecnología	Actualización tecnológica e innovación.	Cambio software ≥ 100 %	Sí	✓	100 %
Indicadores	KPI, objetivos, metas.	Cumple ≥ 3 indicadores	Sí	✗	67 % (2 indicadores)

La eficiencia de cada lineamiento sería el grado de cumplimiento que se haya logrado. Con esos datos se calcularía la eficiencia del proveedor, haciendo un promedio de los valores individuales. No se considera la inclusión por no tener datos. El cálculo resultaría en

$$Eficiencia = \frac{100 + 100 + 73 + 73 + 100 + 100 + 90 + 100 + 67}{9} = 89.2 \%$$

La eficacia se medirá mediante ver cuántos lineamientos se cumplieron y dividirlo entre el total de lineamientos. Para este caso se calcularía de esta manera:

$$Eficacia = \frac{\text{Lineamientos cumplidos}}{\text{Total de lineamientos}} = \frac{6}{9} \times 100 = 66.$$

Y la productividad del proveedor se calcularía:

$$Productividad = Eficiencia \times Eficacia \times 100 = 0.892 \times 0.667 \times 100 = 59.5 \%$$



Resultados

La baja productividad es producida por múltiples factores. Se generan en una estructura de producción ineficiente. En el ejemplo mostrado, BRP Servicios Integrales tiene una productividad del 66 % y con el nuevo método de 59.5 %. La diferencia se debe a que se tomaron otros factores, pero quedó incompleto al no contar con información de la inclusión laboral, pero de contabilizarse sería de 56.2 % (0 % inclusión) y 63.2 % (100 % inclusión).

Conclusiones

Un factor que no se toma en cuenta al medir la productividad es la discriminación laboral; por desgracia vivimos inmersos en ella y no la percibimos como causa de la baja productividad del país, pues es un patrón cultural y, al ser un elemento importante, se incluyó dentro de la nueva metodología.

Las fuentes de financiamiento también son un factor que debe ser incluido.

Las personas interesadas en continuar esta línea de investigación podrían concentrarse en determinar cómo generar una mayor igualdad e inclusión, dado que la eliminación de la discriminación en los sistemas productivos y económicos reduciría la desigualdad del país. Podríamos sugerir que hay un abundante campo todavía por explorarse en lo que se refiere a salud ocupacional, ya que esto tampoco se ha abordado lo suficiente, y determinar si esto es un factor en la baja productividad de la y el trabajador mexicano.

Referencias

1. PADILLA, Ramón; Daneshvar, Cambiz; Garry, Stefanie; et al. Productividad y brechas estructurales en México. [En línea]. Primera edición. Ciudad de México. CEPAL. Mayo de 2016. [Fecha de consulta: 5 de diciembre de 2020]. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40165/S1600553_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2. CONEVAL. Diagnóstico de productividad y análisis de los avances del Programa para Democratizar la Productividad 2013-2018. [En línea]. Primera edición. Ciudad de México. CONEVAL, 2018. [Fecha de consulta: 5 de diciembre de 2020]. Disponible en https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Estudios_diagnostico.org.mx/wp-content/uploads/2019/11/ICI2019IMCO.pdf
3. IMCO. Sueños sin oportunidad. [En línea]. IMCO. noviembre de 2019. [Fecha de consulta: 10 de enero de 2021]. Disponible en <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2019/11/ICI2019IMCO.pdf>
4. AGUILAR Elías, Jorge Wadi. La deficiente productividad laboral en México. Revista de Contaduría Pública. [En línea]. Diciembre 2019, No. 96. [Fecha de consulta: 10 de enero de 2021]. Disponible en <http://contaduriapublica.org.mx/2020/01/01/la-deficiente-productividad-laboral-en-mexico/>
5. INEGI. Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) 2018. INEGI, Secretaría de Economía. Septiembre de 2019. [Fecha de consulta: 15 de marzo del 2021]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enaproce/2018/doc/ENAPROCE2018Pres.pdf>
6. SÁNCHEZ Tello, Jorge. Opinión: ¿Qué problema enfrentan las Pequeñas y Medianas Empresas? Revista Expansión. [En línea]. 1 de marzo de 2018. [Fecha de consulta: 15 de marzo de 2021]. Disponible en <https://expansion.mx/opinion/2018/03/01/opinion-que-problema-enfrentan-las-pequenas-y-medianas-empresas>
7. INAEM. Diagnóstico 2016 del Fondo Nacional Emprendedor. Instituto Nacional del Emprendedor (INAEM), Secretaría de Economía. [En línea]. Febrero de 2017. [Fecha de consulta: 15 de



- marzo del 2021]. Disponible en https://www.inadem.gob.mx/wp-content/uploads/2017/02/Diagnóstico_FNE-2016.pdf
8. ALMANZA, Lucero. Baja productividad laboral en entidades del Bajío. *El Financiero*. [En línea]. 12 de marzo de 2018. [Fecha de consulta: 15 de marzo de 2021]. Disponible en <https://www.elfinanciero.com.mx/bajio/baja-productividad-laboral-en-entidades-del-bajio>
 9. OLIVAROS-ROSEN, Elijah y BRANDAZZA, Daniela. Análisis Económico: Productividad baja y desigual en México: Qué nos dice sobre el crecimiento futuro del PIB. S&P Global Ratings [en línea]. 29 de julio de 2019. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2021]. Disponible en: https://www.spglobal.com/_assets/documents/ratings/es/pdf/2019-07-29-productividadbajadesigualenmexicocrecimientofuturodelpib.pdf
 10. REDACCIÓN AM. A la baja productividad de empresas en Guanajuato. *Periódico AM* [en línea]. 13 de diciembre de 2018. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2021]. Disponible en <https://www.am.com.mx/news/2018/12/13/la-baja-productividad-de-empresas-en-guanajuato-370938.html>
 11. SOLÍS, Patricio. Discriminación estructural y desigualdad social. Con casos ilustrativos para jóvenes indígenas, mujeres y personas con discapacidad. [En línea]. Primera edición. Ciudad de México. Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación, Secretaría de Gobernación. 2017. [Fecha de consulta: 23 de abril de 2021]. Disponible en <http://repositorio.dpe.gob.ec/bitstream/39000/2084/1/CONAPRED-066.pdf> pp. 7-8 ISBN: 978-607-8418-31-2 (Discriminación estructural y desigualdad social).
 12. FAVILA Tello, Antonio y GONZALEZ Samaniego, Octavio. Problemática de la productividad en México: una revisión de literatura. *Tlatemoani: revista académica de investigación*. [En línea]. Diciembre 2020. 11 (35): pp. 123-137. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021]. Disponible en <https://www.eumed.net/uploads/articulos/61805fbc83654adfc18a545d1975326d.pdf> ISSN-e: 1989-9300
 13. zBETANCOURT QUINTERO, Diego. Productividad: definición, medición y diferencia con eficacia y eficiencia. En: *Ingenio Empresa*. [En línea]. 27 de mayo de 2017. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2022]. Disponible en: www.ingenioempresa.com/productividad

Fecha de recepción

03/11/2021

Fecha de aceptación

09/11/2022

Fecha de publicación

31/01/2023



Análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas

Análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas

Ana Paola Huerta Jiménez, Armando Mendieta Mateo, Israel Becerril Rosales / Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Resumen

Una empresa dedicada a la fabricación de filtros y productos de limpieza a base de fibra, algodón y poliéster, presenta problemas en el área de producción debido a que la iluminación en algunas zonas está fuera de especificación de acuerdo con los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 Condiciones de Iluminación en los centros de trabajo, esto ocasionó desperdicio por defectos por la falta de visibilidad del personal operario. En los últimos cuatro meses del estudio el promedio fue de 13.1 %. Se identificaron las áreas donde se presentó el problema, se implementaron mejoras por puesto de trabajo, se ajustó el número de luminarias necesarias y la altura a la que deberían instalarse, se consideró la capacidad de emisión de lumen y dimensión superficial por área de trabajo, esto permitió disminuir el desperdicio por defectos hasta un 5.17 %, que representa una reducción de más del 50 %.

Palabras clave: niveles de iluminación, luxes, mejora, desperdicio, metros lineales

Abstract

A company dedicated to the manufacture of filters and cleaning products based on fiber, cotton and polyester presents problems in the production area due to the fact that the lighting in some areas is out of specification in accordance with the parameters established in the Official Mexican Standard NOM. -025-STPS-2008 Lighting Conditions in the Work Centers, causing waste due to defects due to the lack of visibility of the operators, in the last four months the average has been 13.1%. Areas where lighting levels were out of specification were identified, improvements per job were implemented, the number of necessary luminaires and the height at which they should be installed were adjusted, the lumen emission capacity and surface dimension by work area, which allowed to reduce waste due to defects up to 5.17%, which represents a reduction of more than 50%.

Keywords: lighting levels, luxes, improvement, waste, linear meters



Introducción

La Iluminación es uno de los factores de riesgo presentes en puestos de trabajo que pudieran ocasionar una enfermedad ocupacional o incluso accidentes. Bajo rendimiento laboral e incremento de errores asociados a la falta de visión por parte de la persona afectada son tipos de efectos que se presentan en las personas sometidas a un nivel inadecuado de iluminación¹.

El estudio del caso muestra la problemática en las líneas de producción derivada de la iluminación inadecuada, o fuera de la especificación señalada en la NOM-025-STPS-2008. Mediante el método de los lúmenes, se realizó un análisis en diversas áreas de la empresa para la corrección de los niveles de iluminación, considerando factores como altura de techumbres y mobiliario, color de techos y paredes, nivel de reflectancia del mobiliario, el número de luminarias instaladas, distancia entre estas, así como la intensidad luminaria de cada una obtenida mediante un luxómetro. La atención de todos estos aspectos conlleva a promover un ambiente de trabajo seguro y saludable, que se traduce a áreas de oportunidad, prevención de accidentes y reducción de desperdicios

Objetivo

Realizar un análisis en los niveles de iluminación y ajustarlos de acuerdo con los parámetros establecidos por la NOM-025-STPS-2008 para reducir los niveles de desperdicio por defecto ocasionados por falta de visibilidad durante el turno de la noche

Planteamiento del problema

Los “defectos” son el desperdicio más obvio dentro de la empresa, se trata de todos los productos que no cumplen con los requerimientos estéticos o de funcionalidad que la o el cliente ordena, ocasionando que el producto sea desechado o “re-trabajado”². Los desperdicios por defecto a causa de la inadecuada iluminación representan el 13.1 % en promedio en la empresa dedicada a fabricación de productos de limpieza. Esto es provocado por la falta de percepción en la visión de los colores, fatiga ocular, cansancio, estrés e incluso accidentes. Abordar este problema reducirá costos, desperdicios, y a su vez ofrecerá métodos de trabajo ergonómicos, de tal manera que se eviten efectos negativos en la salud del personal.



Fundamento teórico

Las condiciones de iluminación aplican a diferentes tipos de instalaciones. Por ejemplo, se han realizado mediciones para conocer los niveles de iluminación en un centro mediclínico en Santa Ana, Bogotá, su objetivo fue conocer el comportamiento y la relación existente de los posibles efectos visuales en las y los empleados de cada área en la que se desempeñan³.

Por otra parte, es importante considerar que las medidas de ahorro posibles relacionadas con la energía e iluminación en una empresa de producción son sumamente amplias, de manera que el análisis de consumo y ajuste arroja puntos óptimos de uso energético. Se obtiene como resultado que, aplicando todas las acciones propuestas, el consumo mensual disminuiría⁴.

El artículo “Evaluación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo del laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa (Látex)”, menciona la importancia que tiene el confort lumínico dentro de las instalaciones. La eficacia visual aumenta proporcionalmente con el incremento de la iluminación, esto se da de manera más marcada con niveles bajos de iluminación y no es tan significativo con niveles altos. La luz es un factor determinante del confort humano, A través del manejo adecuado de la luz se pueden obtener aumentos en la eficiencia y productividad en un porcentaje bastante significativo⁵.

Para iniciar esta investigación se tomaron en cuenta los siguientes conceptos:

Visión e iluminación

Para que una actividad laboral pueda desarrollarse de una forma eficaz, precisa que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen, ya que se considera que el 50 % de la información sensorial que recibe el ser humano es de tipo visual. La luz es una forma particular y concreta de energía que se propaga, no a través de un conductor (como la energía eléctrica o mecánica) sino por medio de perturbaciones periódicas del estado electromagnético del espacio; es lo que se conoce como “energía radiante”⁶.

Iluminación natural y artificial

Existen dos fuentes básicas de iluminación: natural y artificial. La iluminación natural es la suministrada por la luz diurna y presenta indudables ventajas sobre la iluminación artificial, permitiendo definir perfectamente los colores, ya que en horas de máxima iluminación pueden existir valores superiores a 100,000 lux. La iluminación artificial es la suministrada por fuentes luminosas artificiales como lámparas de incandescencia o fluorescentes⁷.

Iluminancia

Se define como la relación entre el flujo luminoso que emite una fuente de luz y que es recibido por la superficie. Su unidad es el lux. El lux⁸ (lx) se define como el nivel de iluminación de una superficie de 1 m² cuando sobre ella incide uniformemente repartido un flujo luminoso de 1 lm.



Luminancia

Mide el brillo tanto de la fuente luminosa como el reflejado por la superficie u objeto iluminado. El ojo percibe luminancias (no percibe colores, sino los brillos como atributos del color); la percepción de la luz es realmente la percepción de las diferencias de luminancias, siendo independiente de la distancia de observación⁸.

Luminaria

Dispositivo eléctrico que contiene una lámpara eléctrica que proporciona iluminación.

Refracción

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro de diferente densidad se produce un cambio en su dirección debido a la distinta velocidad de propagación que tiene la luz en los diferentes medios materiales. A este fenómeno se le llama refracción⁹.

Reflexión

Cuando una superficie devuelve un rayo de luz que incide sobre ella, se dice que el rayo es reflejado. La reflexión es la luz reflejada por la superficie de un cuerpo y puede ser de varios tipos: especular (la más corriente), difusa, difusa dirigida y mixta. La reflexión especular aumenta con el ángulo de incidencia hasta obtener una casi total reflexión con ángulos rasantes¹⁰.

Determinación de luminarias

Para realizar el proceso de cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, el método de los lúmenes es muy eficiente. El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia

en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de $\pm 5\%$ y proporciona una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación. Teniendo siempre en cuenta que se utilizará para obtener una iluminación general y uniforme de determinado espacio¹¹.

El desarrollo de este método consta de los siguientes pasos:

Cálculo para determinar la altura de 1. suspensión de luminarias

Determinar la altura de suspensión de las luminarias entre el plano de trabajo y el plano de las luminarias para una iluminación directa, semidirecta y difusa mediante la siguiente ecuación¹²:

$$h = \frac{4}{5} * (H - h') \quad (1)$$

donde:

H es la altura total de la superficie de trabajo

h' es la altura del plano o mesa de trabajo al suelo

Cálculo para obtener el índice del 2. local

El índice del local se averigua a partir de la geometría del puesto de trabajo empleando las dimensiones a lo ancho, largoy alto con respecto a la iluminación directa, semidirecta y difusa. Para ello se aplica la siguiente ecuación¹²:

$$k = \frac{a * b}{h (a + b)} \quad (2)$$



donde

- a es el ancho de la superficie de trabajo (m)
- b es el largo de la superficie de trabajo (m)
- h es la altura de suspensión de las lámparas

3. Cálculo para obtener el flujo luminoso total necesario

Consiste en calcular el flujo luminoso total que necesita una superficie determinada. Para ello es necesario conocer las dimensiones del puesto de trabajo y las características de la luminaria que se emplea aplicando la ecuación¹¹:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \quad (3)$$

donde:

- E_m es el nivel de iluminación deseada (lux)
- S es la superficie a iluminar (m)
- C_u es el coeficiente de utilización
- C_m es el coeficiente de mantenimiento

4. Cálculo para determinar el número de luminarias

Determina el número exacto de luminarias precisas para alcanzar un nivel de iluminación adecuado por superficie de trabajo mediante la ecuación¹² siguiente:

$$N_L = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (4)$$

donde:

- Φ_T es el flujo luminoso total necesario en la zona o local
- Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara
- n es el número de tubos que tiene una luminaria

5. Cálculo para establecer el número de luminarias a lo ancho

Calcular el número de luminarias a lo ancho de la superficie de trabajo mediante la siguiente ecuación¹²:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_L * a}{b}} \quad (5)$$

donde

- a es el ancho de la superficie de trabajo (m)
- b es el largo de la superficie de trabajo (m)

6. Cálculo para determinar el número de luminarias a lo largo

Calcular el número de luminarias a lo largo de la superficie de trabajo mediante la siguiente ecuación¹²:

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} * \left(\frac{b}{a}\right) \quad (6)$$

donde:

- a es el ancho de la superficie de trabajo (m)
- b es el largo de la superficie de trabajo (m)

Método de trabajo

Para hacer un análisis de los puestos de trabajo y determinar su eficiencia en cuanto a los niveles de iluminación, es necesario conocer (Tabla 1) los límites mínimos de iluminación que establece la NOM-025-STPS-2008.

Límites mínimos de iluminación (LMI)

Tabla 1. Límites mínimos de iluminación. Fuente: NOM-025-STPS-2008¹³

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimientos de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén, plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicio al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada a detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabados de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; exactas y muy prolongadas, y muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000



Determinar el factor de reflexión en el plano de trabajo y paredes que por su cercanía al trabajador o trabajadora afecten las condiciones de iluminación como lo establece la NOM-025-STPS-2008, presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión.

Fuente: NOM-025-STPS-2008¹³

Concepto	Niveles Permisibles de Reflexión, kf
Paredes	60 %
Plano de trabajo	50 %

Herramienta de trabajo

• Luxómetro

Uno de los factores que influyen en la seguridad y el rendimiento laboral es la distribución y la intensidad de la iluminación, el luxómetro¹⁴ es una herramienta que ayuda a garantizar que las condiciones de iluminación de ese espacio interior sean óptimas. Este instrumento ayuda a medir de forma rápida y simple la luminosidad real y no subjetiva de determinado ambiente. El luxómetro cuenta con una célula fotoeléctrica que absorbe la luz para luego convertirla en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representados en una aguja con la adecuada escala de luces.

La iluminancia es la cantidad de luz que puede llegar a un espacio por unidad de área. Se mide en luxes, teniendo en cuenta que 1 lux es equivalente a 1 lumen por metro cuadrado.

Desarrollo

Para la fabricación de productos de limpieza destinados para el hogar, los velos de algodón, poliéster y material para reproceso son compactadas por medio de un golpeteo de agujas (punzonado) y los metros lineales producidos son inspeccionados a detalle por el personal operador que se encuentra a cargo de esta estación del proceso en el enrollador de tela. Esta actividad requiere de un lugar de trabajo en óptimas condiciones, principalmente de una buena iluminación que permita a la persona operadora visualizar minuciosamente los metros lineales producidos. Cuando los metros producidos no están compactados de manera adecuada y se detecta a tiempo,

son cortados y llevados a reproceso, pero si el material defectuoso no se recorta, este pasa al proceso de teñido, haciendo que los metros lineales de ese rollo queden inservibles y solo se extraen aquellos que son funcionales para la elaboración de productos de limpieza.

En los últimos meses la mala inspección del material causada por la falta de iluminación provoca un desperdicio mensual equivalente al 13.1 % en promedio.

A continuación, se presenta la cantidad mensual de desperdicio que se genera en las líneas productivas (Tabla 3).

Tabla 3. Cantidad mensual de desperdicio (meses 1- 4). Fuente: elaboración propia

MES	Metros lineales (M. L.)		
	Cantidad deseada	Cantidad producida	Cantidad desperdiciada
1	26,717	30,335	3,618
2	29,937	34,597	4,660
3	28,060	32,689	4,629
4	28,225	32,424	4,199

En las líneas productivas es poco probable que la producción mensual sea constante, lo que hace que la manufactura de productos presente aumentos y disminuciones de acuerdo con la demanda solicitada, generando un porcentaje de desperdicio mensual.

Características y distribución de luminarias

Como primera fase se realizó una inspección para conocer las características y distribución de las luminarias en cada puesto de trabajo. Cada nave cuenta con iluminación mixta, lámparas fluorescentes de dos tubos son las que producen la visibilidad de cada una de ellas, a excepción del área de oficinas y el laboratorio. La distribución se encuentra en

la parte central de cada área, suspendida a una altura de 5 metros, con una separación entre luminarias de 3 a 4 metros en promedio dependiendo de cada nave. Cada puesto de trabajo cuenta con iluminación tanto artificial como natural. Los puestos de trabajo en los que se realizaron mediciones se identifican en la Figura 1 para una mejor apreciación.

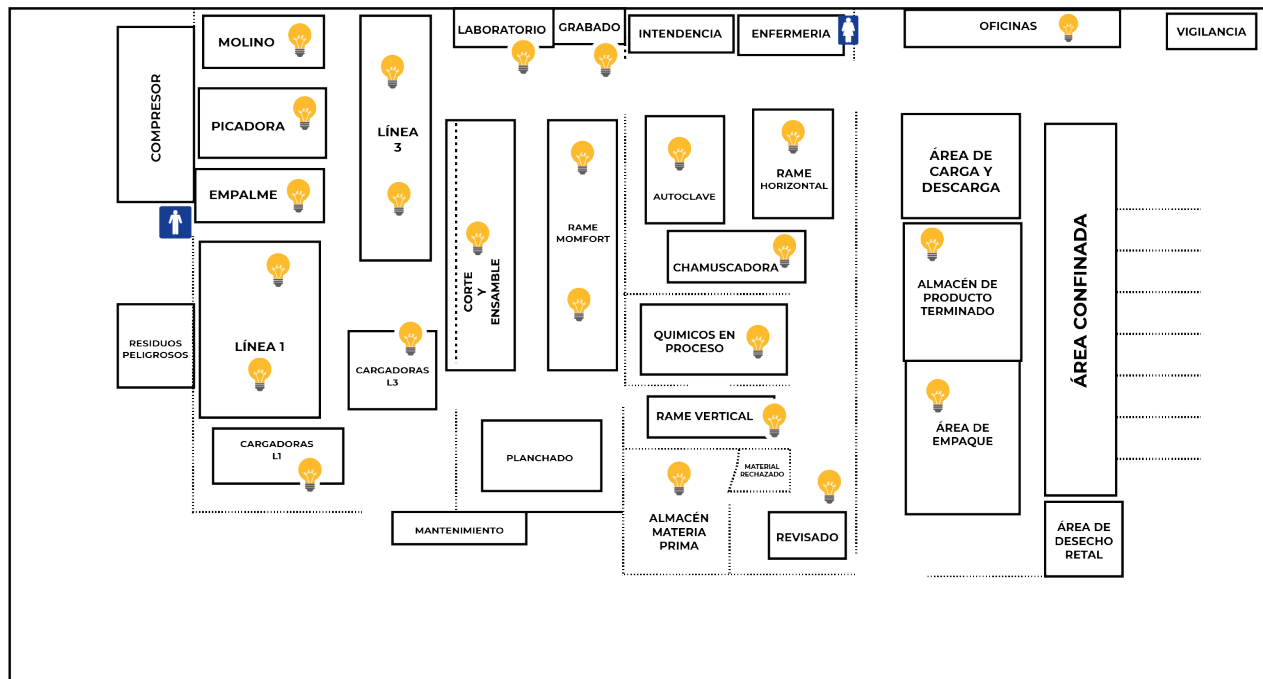


Figura 1. Plano de distribución. Fuente: elaboración propia

Análisis del nivel de iluminación instalada

- **Características del equipo de medición**

Se utilizó un luxómetro para medir la iluminación debidamente calibrada durante una jornada laboral en los horarios que se lleva a cabo la inspección de los metros lineales producidos y bajo condiciones normales de operación con las siguientes características (Tabla 4).

Tabla 4. Equipo de medición utilizado en la evaluación. Fuente: Extech

Nombre	Marca	Modelo	Serie
Luxómetro	Extech	EA31	150706667

El detector de iluminación se refiere al rango que cubre dependiendo si será usado para medir luz natural, iluminación interior o exterior nocturna. El instrumento cuenta con corrección del color, ya que tiene un filtro para que este tenga la sensibilidad espectral.

- **Evaluación de los niveles de iluminación**

Durante la segunda fase se realizó un recorrido físico en todo el establecimiento, y se identificaron los puestos de trabajo donde existe deficiencia o exceso de iluminación que provoca deslumbramiento en las tareas visuales que realizan las personas operadoras. Los datos obtenidos de la evaluación se pueden apreciar y comparar con respecto a los requerimientos de iluminación del marco normativo aplicable (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación de los niveles de iluminación. Fuente: elaboración propia

Lux (Lx): es la unidad para medir el nivel de iluminación, mide el flujo de luz proyectado por una fuente sobre una superficie situada a cierta distancia. Fuente: elaboración propia

AREA / UBICACIÓN	Niveles de iluminación evaluados (luxes)			Requerimientos de iluminación NOM-025-STPS-2008 (luxes)
	Hora			
	8:04 a 8:39	15:22 a 15:51	22:14 a 22:47	
Área de empaque	426	631	214	100
Almacén de producto terminado	483	732	251	100
Oficinas / mesa de trabajo	428	562	385	300
Revisado / mesa de inspección	173	281	89	300
Almacén de materia prima	862	1203	561	200
Máquina vertical / tina de teñido	542	831	368	200
Pastas / químicos en proceso	149	271	83	500
Autoclave / tablero	109	148	75	200
Chamuscadora / barra de rollos	137	182	96	200
Máquina horizontal / enrollado de tela	93	143	79	200
Línea corte y ensamble / Salida corte de tela	187	205	162	300
Monfort / tina de teñido	120	155	86	200
Monfort / enrollado de tela	582	634	413	300
Grabado	463	482	457	200
Laboratorio / mesa de trabajo	683	732	628	500
Línea 1 cargadoras	107	149	93	200
Línea 1 cardas	174	176	170	200
Línea 1 enrollado de tela	178	182	180	200
Línea 3 cargadoras	142	140	136	200
Línea 3 cardas	287	293	296	200
Línea 3 enrollado de tela	286	327	272	200
Empalme / cortadora de rollos	185	182	179	200
Picadora de fibra en reproceso	151	153	147	200
Molienda de fibra para reproceso	308	310	302	200

Fuera de norma ■

Cada puesto de trabajo debe contar con una buena distribución de lámparas, tomando en cuenta la separación entre cada una de ellas y la altura con respecto al plano o mesa de trabajo donde se

encuentran suspendidas, considerando el lumen emitido por las luminarias, así como la superficie de trabajo para establecer los puntos adecuados para su instalación.



Acciones correctivas por puesto de trabajo

Las acciones de mejora promueven que cada nave del establecimiento opere de una manera integral y eficaz, mejorando el nivel de iluminación por puesto de trabajo. De esta manera, las tareas visuales, así como el medio en el que se desarrolla el personal operativo cumplirán con los parámetros adecuados de iluminación, evitando accidentes e incidentes en su área de trabajo.

• Altura de suspensión de luminarias

Para la tercera fase, exceptuando el área de oficinas y laboratorio, la altura total de la superficie de la empresa es de seis metros y la altura del suelo a la mesa de trabajo de manera ergonómica es de 0.85 m. En este caso, la altura total de la superficie es elevada, por lo tanto, la altura de suspensión de las luminarias se obtiene de la ecuación 1:

$$h = \frac{4}{5} * (6 \text{ m} - 0.85 \text{ m}) \approx 4.12 \text{ m}$$

La suspensión de lámparas por puesto de trabajo queda a una altura de 4.12 m.

Para las áreas de laboratorio y oficinas, al ser espacios de trabajo con dimensiones de tres metros de alto, se recomienda colocar las luminarias lo más alto posible.

• Cálculo del índice del local

En la cuarta fase, el índice del local (k) se averigua a partir de la geometría de este. En el puesto de trabajo máquina vertical, el ancho de la superficie de trabajo es de 3.5 m, el largo es de 5 m con una altura de suspensión de luminarias de 4.12 m, aplicando la ecuación número 2 se obtiene:

$$k = \frac{3.5 \text{ m} * 5 \text{ m}}{4.12 \text{ m} (3.5 \text{ m} + 5 \text{ m})} \approx 0.4997$$

El valor del índice del local es obtenido al ejecutar la ecuación 2 por puesto de trabajo.

• Cálculo del flujo luminoso total necesario

El coeficiente de mantenimiento depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del área de trabajo 0.8 % limpio y 0.6 % sucio; para ello se toma el valor de 0.8 %, ya que en cada puesto de trabajo se realiza una limpieza diaria.

El factor de reflexión en techos es de 0.5 % al tener un color claro y en paredes es de 0.3 % al tener un color medio, exceptuando laboratorio y oficinas; estos últimos con un nivel de reflexión del 0.7 % en techos y 0.5 % en paredes respectivamente. Para obtener el coeficiente de utilización se emplean las tablas de acuerdo con el tipo de luminaria que se emplea, misma que es proporcionada por el fabricante.

En el puesto de trabajo *máquina vertical*, requiere un nivel de iluminación de 200 luxes, se emplean luminarias de 40 watts, tiene una superficie de 17.5 m², un coeficiente de mantenimiento del 0.8 %. El porcentaje de reflexión en techo es de 0.5 % y 0.3 % en paredes.

En la figura se ubica el porcentaje de *ceiling* @ 0.5 % igual a 50 walls (W) 0.3 % igual a 30 y que por su traducción significan techo y pared, respectivamente. Para el valor k de 0.4997 se toma el valor menor de 0.75 (*room index*) dando un coeficiente de utilización (Cu) de 62. Como este valor es un porcentaje, en realidad, estamos hablando de 0.62 %.

$$\Phi_T = \frac{200 \text{ lux} * 17.5 \text{ m}}{0.62\% * 0.8\%} \approx 7056.4516 \text{ lumen}$$

Por lo tanto, en la quinta fase el flujo luminoso que requiere cada puesto de trabajo es obtenido al emplear la ecuación número 3.

• Cálculo del número de luminarias

El número de luminarias se determina en la sexta fase aplicando la ecuación 4. En el puesto de trabajo *máquina vertical* se ocupa una lámpara fluorescente de 40 watts con dos tubos y el flujo luminoso de esta es de 2560 lúmenes.

$$N_L = \frac{7056.4516 \text{ lúmenes}}{2 * 2560 \text{ lúmenes}} \approx 1.3782$$

Por lo tanto, se implementan dos lámparas de la misma capacidad para lograr un nivel de iluminación deseado.

✓ Número de luminarias a lo ancho

Para la séptima fase se emplea la ecuación 5 en el puesto de trabajo *máquina vertical*, la dimensión superficial a lo ancho es de 3.5 metros y a lo largo de 5 metros.

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{1.8005}{5 \text{ m}} * 3.5 \text{ m}} \approx 0.9541$$

El número de lámparas que se emplean a lo ancho del puesto de trabajo es de 1.

1. Separación entre luminarias

Es la distancia a lo ancho que tiene la superficie de trabajo, entre el número de lámparas que se instalan.

Exceptuando solo cuando es una sola luminaria, esta queda centrada en el puesto de trabajo.

$$\frac{3.5 \text{ m}}{2} = 1.75 \text{ m}$$

2. Separación de las paredes:

Es la distancia de separación que existe de la lámpara más cercana al extremo de la pared en ambos lados.

$$\frac{3.5 \text{ m}}{2} = 1.75 \text{ m}$$

La distancia a lo ancho dividida entre los dos extremos del puesto de trabajo.

✓ Número de luminarias a lo largo

Finalmente, en la octava fase se ejecuta la ecuación 6, la dimensión superficial en el puesto de trabajo *máquina vertical* a lo ancho es de 3.5 metros y a lo largo de 5 metros.

$$N_{\text{largo}} = 0.9541 * \left(\frac{5 \text{ m}}{3.5 \text{ m}}\right) \approx 1.3638$$

A lo largo del puesto de trabajo *máquina vertical* se implementan dos lámparas de la misma capacidad instaladas a una altura de 4.12 metros.

1. Separación entre luminarias

La distancia a lo largo que tiene la superficie de trabajo entre el número de lámparas que se instalan.

$$\frac{5 \text{ m}}{2} = 2.5 \text{ m}$$



2. Separación de las paredes:

Es la distancia de separación que existe de la lámpara más cercana al extremo de la pared en ambos lados =1.25 m

La distancia a lo ancho dividida entre los dos extremos del puesto de trabajo. El consolidado de todos los cálculos realizados en cada una de las áreas se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores por puesto de trabajo. Fuente: elaboración propia

Área / Ubicación	Altura total (H)	Ancho (a)	Largo (b)	Superficie (m)	Altura de suspensión de luminarias (h)	Índice del local (k)	Flujo luminoso total necesario (lm)	Número de luminarias		
								NL	Ancho	Largo
Área de empaque	6	10	15.3	153	4.12	1.468	28,125.000	3	1	3
Almacén de producto terminado	6	10	11	110	4.12	1.271	20,220.580	2	1	2
Oficinas/ mesa de trabajo	3	6	8.4	50.4	2.15	1.628	31,239.669	3	1	3
Revisado / mesa de inspección	6	3.5	6	21	4.12	0.537	10,500.000	1	1	1
Almacén de materia prima	6	15	13	195	4.12	1.69	65,000.000	6	3	2
Máquina vertical / tina de teñido	6	3.5	5	17.5	4.12	0.4997	7,056.451	2	1	2
Pastas / químicos en proceso	6	4	7	28	4.12	0.618	23,333.330	2	1	2
Autoclave / tablero	6	3	4	12	4.12	0.416	4,566.210	1	1	1
Chamusca dora / barra de rollos	6	5	6	30	4.12	0.662	11,415.520	2	1	2
Maquina horizontal / enrollado de tela	6	6	4	24	4.12	0.538	9,132.420	2	2	1



Línea corte y ensamble / Salida corte de tela	6	4.2	8.5	35.7	4.12	0.682	17,850.000	2	1	2
Monfort / Tina de teñido	6	2.4	5	12	4.12	0.394	4,566.210	1	1	1
Monfort / enrollado de tela	6	2	5	10	4.12	0.347	5,707.700	2	1	2
Grabado	6	3.5	6	21	4.12	0.537	7,990.860	2	1	2
Laboratorio / mesa de trabajo	3	4	7.4	29.6	2.15	1.208	30,578.512	3	1	3
Línea 1 cargadoras	6	2	4	8	4.12	0.324	3,044.140	1	1	1
Línea 1 cardas	6	2	3.5	7	4.12	0.309	2,663.624	1	1	1
Línea 1 rollo de tela	6	2.7	3.5	9.45	4.12	0.37	3,595.890	1	1	1
Línea 3 cargadoras	6	2	4	8	4.12	0.324	3,044.140	1	1	1
Línea 3 cardas	6	2.25	3.8	8.55	4.12	0.343	3,253.420	1	1	1
Línea 3 enrollado de tela	6	2.7	3.5	9.45	4.12	0.37	3,595.890	1	1	1
Empalme / cortadora de rollos	6	4.12	4.8	19.776	4.12	0.538	7,305.930	2	2	1
Picadora de fibra en reproceso	6	2.3	3.7	8.51	4.12	0.344	3,238.200	1	1	1
Molienda de fibra para reproceso	6	2.5	4	10	4.12	0.373	3,805.175	1	1	1



Resultados

Verificación de los niveles de iluminación

Para dar cumplimiento a los parámetros de iluminación, se realizaron mediciones por segunda vez para verificar los niveles de iluminación, luego de implementar el número exacto de lámparas por puesto de trabajo para lo largo, ancho y la altura adecuada para la suspensión de las luminarias con respecto a la mesa de trabajo, se tomaron mediciones en tiempos diferentes del día; la primera medición a tempranas horas de haber iniciado el turno, la segunda pasado del medio día y la tercera durante las primeras horas de la noche. Los resultados de las mediciones se pueden visualizar en la Tabla 7, donde se evidencia que con las acciones tomadas todas las áreas cumplen la normatividad.

Tabla 7. Niveles de iluminación verificados. Fuente: elaboración propia

AREA / UBICACIÓN	Niveles de iluminación evaluados			Requerimientos de iluminación NOM-025-STPS-2008
	Hora			
	8:15 a 8:51	15:12 a 15:45	22:06 a 22:38	
Área de empaque	182	218	116	100
Almacén de producto terminado	196	224	109	100
Oficinas / mesa de trabajo	354	420	318	300
Revisado / mesa de inspección	335	361	313	300
Almacén de materia prima	292	320	224	200
Maquina vertical / tina de teñido	265	342	212	200
Pastas / químicos en proceso	521	563	502	500
Autoclave / tablero	279	315	214	200
Chamuscadora / barra de rollos	282	334	205	200
Maquina horizontal / enrollado de tela	274	381	216	200
Línea corte y ensamble / Salida corte de tela	326	412	307	300
Monfort / tina de teñido	294	376	215	200
Monfort / enrollado de tela	286	392	307	300
Grabado	283	345	208	200
Laboratorio / mesa de trabajo	546	602	512	500
Línea 1 cargadoras	219	234	206	200
Línea 1 cardas	226	242	212	200
Línea 1 enrollado de tela	217	238	209	200
Línea 3 cargadoras	219	251	206	200
Línea 3 cardas	221	233	207	200
Línea 3 enrollado de tela	217	238	209	200
Empalme / cortadora de rollos	224	231	210	200
Picadora de fibra en reproceso	227	238	215	200
Molienda de fibra para reproceso	221	236	208	200

Las cantidades mensuales de desperdicio que se generaron en las líneas productivas luego de haber mejorado los niveles de iluminación se muestran a continuación con los respectivos metros lineales totales producidos para satisfacer con la demanda solicitada (ver la Tabla 8).

Tabla 8. Cantidad mensual de desperdicio (meses 5 – 8). Fuente: elaboración propia

Mes	Metros lineales (M.L.)		
	Cantidad deseada	Cantidad producida	Cantidad desperdiciada
5	25,700	27,342	1,642
6	23,450	24,923	1,473
7	31,300	33,145	1,845
8	30875	32,558	1,683

Las órdenes de producción que mensualmente se generan, tienen variaciones en cuanto a la requisición de pedidos y por ende las cantidades totales producidas generan distintos metros lineales de desperdicio. El porcentaje de desperdicio respectivo al primer y segundo cuatrimestre se muestra en la Figura 2.

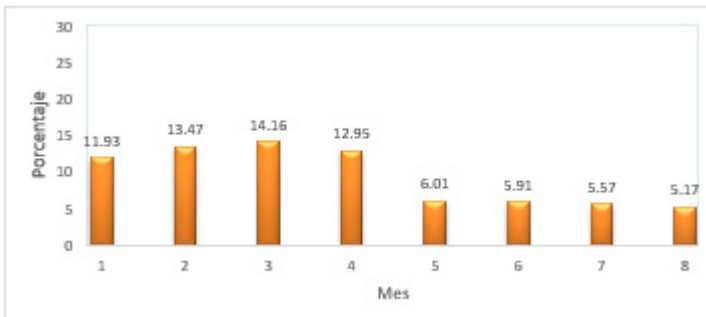


Figura 2. Porcentaje de desperdicio del primer y segundo cuatrimestre. Fuente: elaboración propia

Luego de mejorar el nivel de iluminación en la empresa, el porcentaje de desperdicio en promedio del segundo cuatrimestre es del 5.665 %. Durante el quinto mes, luego de haber realizado mejoras en cuanto a iluminación, se ocupa un total de 27,342 metros lineales para satisfacer la demanda solicitada que es de 25,700 metros, generando un desperdicio del 6.01 % equivalente a 1,642 metros lineales. Durante el primer cuatrimestre, la cantidad de material desperdiciada es de 17,106 metros lineales y para el segundo cuatrimestre se obtienen 6,643 metros lineales desperdiciados.

Discusión

Del análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas, se expone que al ajustar los parámetros de iluminación según la NOM-025-STPS-2008 se logró disminuir el desperdicio en un 5.6 % en promedio.

La adecuación de los niveles de iluminación y reducción de desperdicios engloba factores como la mejora de las condiciones de trabajo, reducción de accidentes, impacto de la contaminación ambiental, atenuar la fatiga visual y la fatiga laboral.

Cabe señalar que el presente estudio coincide con el artículo *Propuestas de mejora para la reducción de desperdicios en una línea de ensamble de filtros sellados en la empresa Affinia Venezuela C.A.*, en el que, basado en su estudio más reciente (2011) bajo la norma Venezuela COVENIN 2249-93: Iluminancias en Tares y Áreas de Trabajo, concluyó que el nivel estaba por debajo de lo establecido y como consecuencia existirían sanciones para la empresa y molestias en los operarios a la hora de laborar¹⁵. Dicho artículo indica que la implementación de la propuesta, en la



empresa Affinia Venezuela C.A. el objetivo fue alcanzar los niveles recomendados en la norma COVENIN de luminancia para las tareas realizadas en las líneas, conseguir un ahorro de energía al eliminar la necesidad de mantener las luces del galpón encendidas durante varios intervalos de tiempo en la jornada y disminuir los riesgos de una mala iluminación, por eso los beneficios obtenidos son cualitativos.

Del mismo modo, en el presente estudio (*Análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas*), al realizar ajustes en cuanto a la iluminación en las áreas de trabajo donde los niveles excedían la iluminación necesaria, se estima conseguir un ahorro de energía. Ambas investigaciones se basan en la simple argumentación de que al menos el 80 % de las principales actividades, necesitan estar en constante equilibrio de una excelente iluminación para el sentido de la visión¹⁶.

La iluminación dentro de una empresa debe asegurar los diferentes niveles de intensidad luminosa en concordancia con el uso de su color, contraste, control de posibles deslumbramiento y confort visual para todos los trabajadores.

Conclusiones

En la industria, los ambientes como almacén, exteriores, zona de procesos, pasadizos, oficinas, tránsito peatonal, y vehicular requieren ser iluminados de acuerdo con la actividad que se realiza y considerando los factores y parámetros de las normas aplicables.

Mantener los niveles adecuados de iluminación en el área de trabajo representa un elemento decisivo a la hora de aumentar el rendimiento productivo al realizar una buena inspección visual en el momento que ya no hay luz natural, si la luz es deficiente es posible que aumenten considerablemente las sensaciones de fatiga y sueño, y por consecuencia repercute de forma negativa en la productividad. Por esta razón, es necesario establecer un programa de mantenimiento preventivo a las luminarias instaladas, realizando limpieza periódica en cada área de trabajo, ya que la iluminación disminuye de manera gradual con el tiempo debido al uso y contaminación del entorno.

Es crucial administrar el voltaje adecuado para las luminarias con base a las especificaciones y lineamientos de carácter técnico de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas (utilización). El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura¹⁷. Lo que se busca es ofrecer óptimas condiciones a las instalaciones para prolongar la vida útil de las luminarias.

Además, es indispensable realizar inspecciones en cuanto al funcionamiento de los equipos ocupados, aplicar un mantenimiento preventivo y correctivo para el constante monitoreo de reducción de desperdicio de material. El tema de la iluminación no solo se relaciona con la reducción de desperdicio sino también en aspectos como en la programación de producción e implementación de diferentes metodologías de mejora continua.

Referencias

1. CABEZA, María A. y Cabeza, María E. Evaluación de los Riesgos por Iluminación en los Puestos de Trabajo de Oficinas PDVSA a través de un Programa de Computación. *SABER*. Vol. 22 (1): pp. 63-69. Enero - abril 2010. ISSN: 1315-0162.
2. RAMÍREZ, Marco Aurelio. *Manufactura esbelta. Gráficos para la identificación y eliminación de desperdicios*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México. Mayo de 2018. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0773849/Index.html>
3. BELTRÁN, Jhon Jairo y Merchán, Claudia Elizabeth. NIVELES DE ILUMINACIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS POSIBLES EFECTOS VISUALES EN LOS EMPLEADOS DE UNA IPS DE BOGOTÁ. *Movimiento Científico*, Vol. 7, núm. 1. 2013. ISSN: 2011-7191.
4. SALAZAR, Luisa; Guzmán, Víctor; y Bueno, Alexander. ANÁLISIS DE MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN. *Ingenius*, núm. 19. Enero - junio 2019. ISSN: 1390-650X.
5. HERNÁNDEZ, Jorge Omar y Lucio, Luis Ángel. Evaluación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo del Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa (LATEX). [En línea]. 11 de marzo de 2014. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. Disponible en https://www.uv.mx/cosustenta/files/2014/06/ANALISIS-LATEX_VERSION-FINAL.pdf
6. LLANEZA, F. Javier. Ergonomía y psicología aplicada. *Manual para la formación del especialista*. 12ª edición. España: LEX NOVA, 2009. ISBN: 78-84-9898-043-1.
7. CORTÉS, José María. *Seguridad e higiene en el trabajo. Técnicas de prevención de riesgos laborales*. 10ª edición. España: Tébar Flores, S. L. 2012. ISBN: 978-84-7360-499-4.
8. BLASCO ESPINOSA, Pedro Ángel. Apuntes: *ILUMINACIÓN*, 3er. curso, Grado en Ingeniería Eléctrica. [En línea]. 21 de diciembre de 2016. Universidad Politécnica de Valencia: Escuela Politécnica Superior de Alcoy. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2021]. Disponible en https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75442/ILUMINACION__GIE-3__2en1.pdf?sequence=1 .
9. SIRLIN, Eli. *Física de la luz*. [En línea]. ca. 2009. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2019]. Disponible en http://www.elisirlin.com.ar/11_fisica%20de%20la%20luz.pdf .
10. HENAO, Fernando. *Riesgos físicos II: iluminación*. Bogotá: ECOE Ediciones, 2014. ISBN: 978-958-771-102-8.
11. MACHADO, E.T., Nuela, S. E., López-López, A. P. y Mosquera, D. L. Evaluación niveles de iluminación en interiores y cálculo para instalaciones de alumbrado. *Knowledge E*. [En línea]. 26 de enero de 2020. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. Disponible en <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/6215>
12. CANÓS, Lourdes; Pons, Carlos; Valero, María y Maheut, Julien Phillippe. Toma de decisiones en la empresa: proceso y clasificación. *Universidad Politécnica de Valencia*. [En línea]. 11 de julio de 2012. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16502/TomaDecisiones.pdf>
13. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-STPS-2008: Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. [En línea]. [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2019]. Disponible en <http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>
14. MATERIALES DE LABORATORIO. Luxómetro. [En línea]. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. Disponible en <https://materialeslaboratorio.com/luxometro/>
15. BENAVENTE, Juan Pablo y Hernández, Andreina. Propuestas de mejora para la reducción de desperdicios en una línea de ensamble de filtros sellados. Caso: Empresa Affinia Venezuela C.A. *DSpace Mobile*. [En línea]. Mayo de 2014. [Fecha de consulta: 16 de febrero de 2022]. Disponible en <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/5662>
16. ÁLVAREZ, Teresa. Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*. España. [En línea]. Diciembre de 2015. [Fecha de consulta: 16 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.insst.es/documents/94886/789635/Iluminacion+en+el+puesto+de+trabajo.pdf/9f9299b8-ec3c-449e-81af-2f178848fd0a?t=1605802874413>
17. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización). [En línea]. 29 de noviembre de 2012. [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280609&fecha=29/11/2012#gsc.tab=0

Fecha de recepción

12/08/2022

Fecha de aceptación

12/12/2022

Fecha de publicación

31/01/2023

La Revista Reacción actúa como mero difusor, por lo que el contenido y opiniones del artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y autoras, y no representan la opinión oficial de la Revista Reacción, ni de la Universidad Tecnológica de León.

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos solo para difusión sin ningún fin de lucro. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.

REA>XION

Ciencia y tecnología universitaria

latindex

Google Académico

 **Actualidad Iberoamericana**
Indice Internacional de Revistas


PERIÓDICA
Indice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias


UTL