

CULCYT

CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA • ISSN 2007-0411



VOLUMEN 21 | NÚMERO 2

MAYO - AGOSTO 2024

Directorio Institucional**Mtro. Juan I. Camargo Nassar**
RECTOR**Dr. Daniel Constandse Cortez**
SECRETARIO GENERAL**Dr. Juan F. Hernández Paz**
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**Dr. Jesús Meza Vega**
DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN UNIVERSITARIA**Dra. Nelly Gordillo Castillo**
COORDINADORA DE APOYO AL DESARROLLO DE
LA INVESTIGACIÓN Y AL POSGRADO DEL IIT**Comité Editorial****Dra. Nelly Gordillo**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Editora en Jefe**Mtro. Raúl Alfredo Meza González**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Coordinador Editorial**Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses**
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**Dr. Ramón Gerardo Guevara González**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**Dr. Klavdia Oleschko Lutkova**
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**Dr. Abdiel Ramírez Reyes**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**Dra. Santos Adriana Martel Estrada**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**Dr. David Cortés Sáenz**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**Dr. David Ortega Gaucín**
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

CULCYT se fundó en diciembre de 2003 como parte del programa para la formación de investigadores del Instituto de Ingeniería y Tecnología. Lanzó su primer número en abril de 2004. Fundador: Dr. Victoriano Garza Almanza. A partir de 2019, ha fungido como Editora en Jefe la Dra. Nelly Gordillo Castillo.

CULCYT. CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Vol. 21, núm. 2, mayo-agosto 2024, es una publicación académica, editada de manera cuatrimestral por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ingeniería y Tecnología.

D.R. © UACJ, Avenida del Charro núm. 619 norte, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Editora responsable: Dra. Nelly Gordillo Castillo.

Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2021-060118164700-203.

ISSN (electrónico): 2007-0411.

Sitio OJS: erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt. Correo electrónico: culcyt@uacj.mx. Teléfono +52 (656) 6884848.

DOI: [10.20983/culcyt.2024.2](https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.2)

Modalidad de publicación continua. Tan pronto como un artículo ha sido preparado, se publica en línea.

Los trabajos a publicar en CULCYT deben ser originales e inéditos. En este momento, la revista no tiene costos de publicación para los autores.

El acceso a la revista es libre, sin requerimientos, bajo lo establecido en la normatividad mexicana de acceso abierto, y se da a través de su sitio

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt>

o mediante el Repositorio Institucional de la UACJ

<http://ri.uacj.mx/vufind/>



UACJ | Repositorio Institucional

Los artículos firmados son responsabilidad de sus autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite la fuente.

Información para autores:

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/autores>

Los contenidos e imágenes de la publicación están sujetos a una licencia CC 4.0 internacional BY NC.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE CIUDAD JUÁREZ

latindex

Dialnet

Contenido
CONTENTS

Artículos de investigación / Research articles

Concentrador solar estático reflectivo-refractivo: construcción y evaluación experimental **5**

Reflective-refractive static solar concentrator: construction and experimental evaluation

Arturo Cordero-Guillén, Guillermo Luque-Zúñiga, Omar Jiménez-Ramírez, Gonzalo Alonso Ramos-López, Rubén Vázquez-Medina

Evaluación de la carga de trabajo mental para la nivelación de cama en impresoras de filamento **15**

Evaluation of the mental workload in the leveling of the bed in filament printers

Pablo Antonio Muñoz Gutiérrez, Juan Luis Hernández Arellano, Aidé Aracely Maldonado-Macías, David Cortés Sáenz

Propuesta para mejorar el control de inventarios de implementos de seguridad en una empresa constructora **21**

Proposal to enhance inventory control of safety equipment in a construction company

Elmer Ahumada Figueroa, Mario Chong

Diagnóstico de salud ocupacional y legislación aplicable de planta TIF en empresa del sector alimentario **30**

Occupational health diagnosis and applicable legislation of TIF plant in a food sector company

Yuridia Belén Cota Pardini, Silvia Miriam Urías Camacho, Marcos Octavio Osuna Armenta, Leiry Alexandra Olivas Román, Mariana Guadalupe Parra Moreno

ENFOQUE Y ALCANCE

La revista CULCYT Cultura Científica y Tecnológica es una publicación electrónica orientada a la discusión académica y científica, que busca fomentar la interacción entre los miembros de la comunidad mexicana e internacional, cuyas líneas de investigación están alineadas a la ingeniería y a la innovación tecnológica, así como a sus interrelaciones con otros campos de la ciencia y la dimensión deontológica que les es pertinente.

La revista CULCYT solo aceptará publicar aquellos trabajos cuyos resultados contribuyan al estado del arte del campo de estudio. No deben arrojar conclusiones ya aceptadas por la comunidad científica, por lo que debe ser un trabajo de innovación, original y que aporte conocimientos nuevos a la comunidad científica internacional.

CULCYT acepta artículos de investigación, artículos de revisión, notas de información técnica Y trabajos de excelencia que hayan sido galardonados con premios en congresos nacionales o internacionales.

PROCESO DE EVALUACIÓN POR PARES

CULCYT es una revista con revisión por pares doble ciega, que es una política para asegurar la excelencia de las investigaciones publicadas y es considerada como uno de los elementos más importantes y críticos para la publicación científica.

Un artículo se envía a por lo menos tres revisores seleccionados de un padrón nacional e internacional, que son expertos en el campo de cada artículo.

Cada ronda de revisión de un artículo debe tardar tres semanas, salvo que ocurran imponderables que alarguen este plazo. CULCYT envía una solicitud al revisor seleccionado y este debe responder si acepta, en un plazo no mayor a tres días naturales. Si la respuesta es positiva, él descarga el manuscrito e inicia la evaluación y si es negativa, se invita a otro experto.

Al terminar, el evaluador llena un formulario de revisión en línea y/o carta el manuscrito del autor con comentarios en el sitio de la revista.







En caso de que haya controversia por las recomendaciones de los revisores, el/la editor/a en jefe será quien emita el veredicto para el artículo. Si lo considera necesario, puede solicitar la opinión de uno o más miembros del comité editorial de la revista para tomar la decisión. Al autor se le notificará la decisión editorial derivada de la controversia, junto con los argumentos que la respaldan.

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista proporciona un acceso abierto inmediato a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global de conocimiento.

Concentrador solar estático reflectivo-refractivo: construcción y evaluación experimental

Reflective-refractive static solar concentrator: construction and experimental evaluation

Arturo Cordero-Guillén^{1a} , Guillermo Luque-Zúñiga^{1b} , Omar Jiménez-Ramírez^{1a} , Gonzalo Alonso Ramos-López^{1b} , Rubén Vázquez-Medina^{1b}  

^{1a}Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Culhuacán, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ciencias de Ingeniería en Sistemas Energéticos, ^{1b}Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro; Laboratorio de Energías Alternativas), Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

RESUMEN

Este estudio presenta los resultados de un experimento que mejora la eficiencia de la captación de energía solar de un concentrador solar estático refractivo-reflectivo. Para esto, se consideró un concentrador solar con eficiencia reportada del 69.36 %, el cual combina un prisma y un concentrador cónico metálico. La nueva versión del concentrador solar fue construida en un torno convencional usando acero 1018 que tiene bajo contenido de carbono (0.15 % al 0.20 %) en la aleación, a la cual se le aplicó un proceso de lijado y pulido para lograr un acabado tipo espejo. Se usó un sistema de medición de intensidad de luz basado en un microcontrolador Arduino Uno R3 de código abierto, soportado por el circuito ATmega328P, un fotodiodo y un foco de halógeno con ajuste de posición en altura y desplazamiento horizontal. La eficiencia lograda fue de 73.39 %, que supera los resultados ya reportados. Este trabajo ofrece una solución innovadora y eficiente que aumenta el tiempo de captación de energía solar. Además, proporciona otra alternativa que usa materiales diferentes a los reportados anteriormente, como la lámina de aluminio anodizado, con superficies altamente reflectantes. El concentrador solar desarrollado en este estudio se puede adaptar a sistemas más complejos de concentración solar. La mejora significativa en la eficiencia de captación de energía solar se debe a la rigidez y estabilidad de los materiales usados y a los procesos de acabado aplicados. Como ventaja se destaca su potencial aplicación en entornos industriales y comerciales basadas en energías renovables.

PALABRAS CLAVE: refractivo-reflectivo; concentrador de embudo; captación de energía solar; radiación solar.

ABSTRACT

This study presents the results of an experiment that improves the solar energy collection efficiency of a static refractive-reflective solar concentrator. For this, a solar concentrator with a reported efficiency of 69.36% was considered, which combines a prism and a metallic conical concentrator. The new version of the solar concentrator was built on a conventional lathe using 1018 steel that has low carbon content (0.15% to 0.20%) in the alloy, which was applied a sanding and polishing process to achieve a mirror-like finish. A light intensity measurement system was used based on an open source Arduino Uno R3 microcontroller, supported by the ATmega328P circuit, a photodiode and a halogen spotlight with height position adjustment and horizontal displacement. The efficiency achieved was 73.39%, which exceeds the results already reported. This work offers an innovative and efficient solution that increases the collection time of solar energy. In addition, it provides another alternative that uses different materials than those reported previously, such as anodized aluminum sheet, with highly reflective surfaces. The solar concentrator developed in this study can be adapted to more complex solar concentration systems. The significant improvement in solar energy collection efficiency is due to the rigidity and stability of the materials used and the finishing processes applied. An advantage is its potential application in industrial and commercial environments based on renewable energy.

KEYWORDS: refractive-reflective; funnel concentrator; solar energy harvesting; solar radiation.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Rubén Vázquez-Medina

INSTITUCIÓN: Instituto Politécnico Nacional / Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

DIRECCIÓN: Cerro Blanco 141, Colinas del Cimatario, C. P. 76090, Santiago de Querétaro, México

CORREO ELECTRÓNICO: ruvazquez@ipn.mx

Fecha de recepción: 16 de febrero de 2024. **Fecha de aceptación:** 15 de mayo de 2024. **Fecha de publicación:** 13 de junio de 2024.



I. INTRODUCCIÓN

La energía solar es una alternativa de energía limpia. Si se considera que el planeta recibe del sol aproximadamente 1.5×10^9 TWh al año, el mayor potencial teórico global de radiación solar por año sería de 2300-2500 kWh/m², observándose en el norte y sur de África, Oriente Medio, Península Arábiga, Australia, México, Brasil, Estados Unidos, el Caribe y el Mediterráneo [1]. La creciente demanda de energía renovable ha impulsado el desarrollo de tecnologías eficientes para captar y aprovechar la energía solar [2]. Los dispositivos más comunes para hacer esto son los captadores y las celdas solares, así como los módulos fotovoltaicos [3], [4], [5]. En el contexto de la creciente demanda de energía renovable, en sustitución de los combustibles fósiles, la investigación en el campo de la energía solar ha adquirido una importancia creciente, impulsando el desarrollo de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia de la recolección de energía solar.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

En el marco de la creciente demanda motivada por el cambio climático, la energía solar ha emergido como una fuente prometedora de energía renovable, debido a su abundancia y bajo impacto ambiental. Los avances en tecnología solar han llevado al desarrollo de diversas técnicas para aprovechar eficientemente la radiación solar y convertirla en energía utilizable. Los captadores, las celdas y los concentradores solares están entre los dispositivos más comunes utilizados para esta finalidad [5].

Los concentradores solares, por su eficiencia en la conversión de energía, surgen como una alternativa prometedora [6], [7], ya que permiten concentrar la radiación solar incidente en áreas más pequeñas, aumentando la densidad de potencia y reduciendo los costos asociados [8]. Uno de los enfoques más recientes en este campo es el uso de concentradores solares estáticos. Estos dispositivos buscan mejorar la eficiencia de la captación de energía solar mediante el uso de elementos ópticos para concentrar la radiación solar incidente en un área receptora más pequeña. Esto contribuye a prescindir de costos extra asociados a seguidores solares, que, si bien son de alta concentración, tienen ángulos de aceptación pequeños [9].

Las investigaciones que influyeron notablemente en la realización de este trabajo se centran en el uso y la optimización de la energía solar y en el desarrollo de nuevas

técnicas para la captación de energía. Algunos de estos trabajos abordan la disponibilidad, destacando a México como uno de los países con un gran potencial en el aprovechamiento de energías limpias. Este reconocimiento motiva a seguir investigando las formas de aprovechar la radiación solar de manera efectiva. A continuación, se enlistan y describen brevemente algunos trabajos que demuestran la importancia de abordar la optimización de los sistemas de concentración de energía solar.

En 2016, Grede *et al.* [10] realizaron una búsqueda de opciones para el seguimiento solar que incrementara el tiempo de captación de energía solar a través de paneles fotovoltaicos. Ellos utilizaron microseguimiento planar integrado a paneles fotovoltaicos estándar. Salvi *et al.* [11] estudiaron en 2018 los retos que enfrenta la industria fotovoltaica y los asemeja a aquellos que tiene la industria de los semiconductores. Ellos presentaron una revisión de cómo se gestiona el calor concentrado en los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos. Por su parte, Shahsavari y Akbari [12] publicaron en 2018 un estudio sobre el potencial de la energía solar en países en desarrollo como una estrategia para reducir las emisiones relacionadas con la energía fósil. Ellos examinaron las oportunidades y desafíos que enfrentan estos países en la adopción de tecnologías solares y destaca su papel en la mitigación del cambio climático y la transición hacia fuentes de energías limpias.

Por su parte, Gorjian, *et al.* [13] realizaron en 2020 una revisión exhaustiva de los avances recientes en las técnicas para mejorar el rendimiento térmico de los captadores solares de baja temperatura. También abordaron los principales tipos de captadores solares de baja temperatura, incluyendo los captadores de placa plana, de tubo de vacío y parabólicos compuestos. En 2022, Masood *et al.* [14] estudiaron el incremento de la energía eléctrica generada por módulos solares fotovoltaicos mediante la concentración de radiación solar. Para lograr esto, propusieron la integración de concentradores ópticos con módulos fotovoltaicos planos. Además, destacaron que una de las causas de pérdidas de energía en los concentradores parabólicos compuestos se atribuye a imperfecciones en las superficies reflectantes y subrayaron la importancia de un proceso de fabricación riguroso para el control de las imperfecciones.

Finalmente, Luque-Zuñiga *et al.* [15] diseñaron en 2023 un concentrador solar estático refractivo-reflectivo y realizaron un montaje experimental que les permitió

evaluar la eficiencia del sistema, simulando las condiciones de iluminación generadas por el sol. Igualmente, resaltaron que la configuración de este concentrador solar permite la integración gradual de varios de ellos para construir sistemas más grandes y eficientes de concentración solar estática.

CONTRIBUCIÓN

Esta investigación se enfocó en estudiar y mejorar la eficiencia de un concentrador estático refractivo-reflector, el cual permite una eficiencia mayor que otras alternativas estáticas de concentración solar. Para aumentar la eficiencia en la concentración solar se han desarrollado soluciones con dos enfoques. Por un lado, se han propuesto dispositivos con seguimiento automático del sol, buscando alcanzar altos factores de concentración. Sin embargo, este tipo de soluciones aumenta significativamente la inversión y el costo de mantenimiento [16]. Por otro lado, para concentradores solares estáticos con bajos factores de concentración, han surgido estudios que evitan sistemas adicionales de seguimiento solar, pero buscan aumentar el tiempo de captación solar a través de la incorporación de superficies con ángulos de aceptación más amplios [17].

En este trabajo se combinan elementos ópticos refractivos y reflectivos en un sistema de concentración estático para maximizar el tiempo de captación de energía solar y superar las limitaciones que tienen alternativas que se diseñan con enfoques convencionales [9]. Bajo condiciones controladas de iluminación, se realizó un análisis experimental de eficiencia en la captación de energía. Además, en este trabajo se presenta el proceso de fabricación de un prototipo de concentrador solar estático refractivo-reflector, incluyendo la selección de materiales y técnicas de fabricación. El concentrador propuesto se presenta con la idea de contribuir al desarrollo de tecnología para generar energía eléctrica y térmica en entornos residenciales, comerciales e industriales. El concentrador propuesto integra componentes ópticos y su diseño ha permitido identificar otras posibilidades de mejorar la eficiencia en la captación solar. Por ejemplo, se puede considerar el uso de otros materiales que mejoren las condiciones de reflectividad. Además, este estudio ha permitido identificar también la aplicación de los concentradores solares de manera conjunta con sistemas de almacenamiento de energía térmica.

II. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación se presenta en cuatro etapas: revisión bibliográfica, diseño mecánico, proceso de fabricación y análisis experimental. Enseguida se describe cada una de ellas.

1. Revisión bibliográfica. Esta etapa se realizó para comprender las características de los concentradores solares que se han expuesto a la fecha. De esta revisión, se eligió el concentrador solar estático tipo cónico desarrollado por Luque-Zuñiga *et al.* [15], debido a que sus características ópticas y geométricas mejoran la eficiencia de la captación solar. Las características principales del concentrador propuesto en este trabajo, a diferencia del planteado por Luque Zúñiga *et al.* [15], son las siguientes: a) dimensiones: es más alto, guardando las proporciones con los diámetros que generan el cono, lo que permite aumentar el tiempo en la captación solar durante el día; b) material utilizado: se usó acero 1018 en una sola pieza sin uniones para evitar deformación y deficiencias en la captación solar (en el de Luque-Zuñiga *et al.* [15] se usó lámina anodizada de aluminio unida por pegamento para formar el cono); c) se le aplicó un proceso de lijado y pulido para lograr un acabado tipo espejo y d) para el maquinado se establecieron condiciones precisas, tales como velocidades de corte, desbaste y acabado, con el propósito de asegurar la repetibilidad en futuros desarrollos.

Un aspecto diferenciador importante radica en la rigidez del prototipo, la cual garantiza la integridad estructural y evita deformaciones incluso ante la manipulación o exposición prolongada a la intemperie.

2. Diseño mecánico. A partir del concentrador solar estático seleccionado, se crearon los planos y diagramas mostrados en la [Figura 1](#), que sirvieron como guía para el proceso de fabricación. Ahí se observa que el diseño en una sola pieza logra un adecuado acople con el prisma en la parte superior y con un sistema transductor en la parte inferior.

El diseño del concentrador estático se basó en las especificaciones, estudios previos y análisis numéricos realizados por Luque Zúñiga *et al.* [9], [15]. La [Figura 1](#) muestra las dimensiones que facilitan la fabricación del prototipo y se incluyen las especificaciones de una ranura que evita el uso de adhesivos para el montaje de un prisma sobre el cono concentrador. Además, se presenta una brida de

acoplamiento entre el concentrador y otros dispositivos, lo que permitió realizar pruebas en condiciones reales.

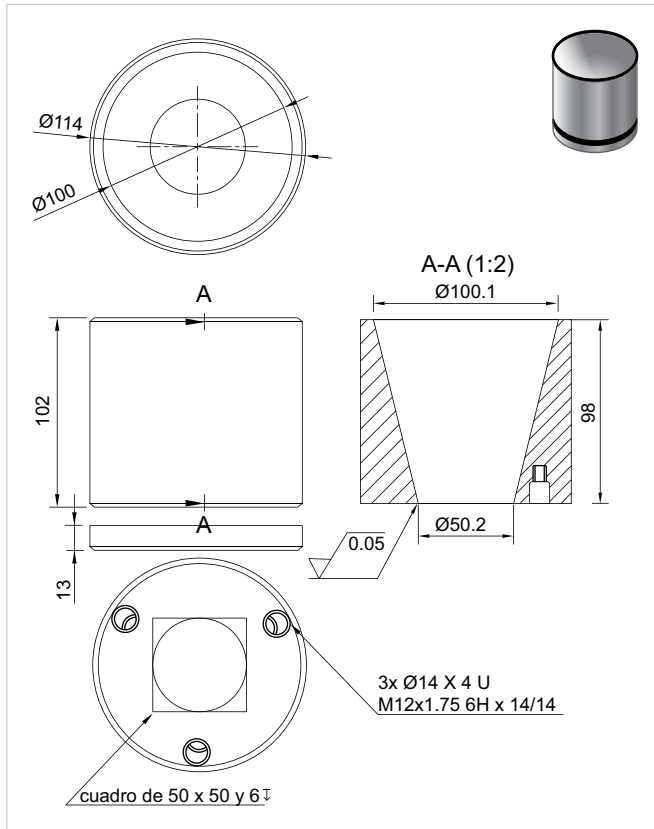


Figura 1. Diagramas de diseño mecánico para el concentrador solar.

El concentrador solar propuesto tiene un área de 7869.70 mm² en el diámetro mayor y un área de concentración efectiva de 1979.23 mm² dada en el diámetro menor. La altura total es de 102 mm. Conforme a sus diámetros mayor y menor, el concentrador tiene un ángulo de aceptación de 45° y un factor geométrico de concentración (GCR: Geometric Concentration Ratio) igual a 4x. El GCR se puede calcular de acuerdo con la Ecuación (1) [15], donde A representa el área de la circunferencia con mayor diámetro en el cono concentrador y a el área de la circunferencia con menor diámetro en el cono.

$$GCR = \frac{A}{a} \quad (1)$$

3. Proceso de fabricación. El concentrador solar se fabricó en acero 1018 en un torno convencional con un diámetro de volteo de 14 pulgadas. Para lograr un acabado fino en el cono, durante el proceso de maquinado se utilizó una velocidad de corte de 30 m/min y una

velocidad de husillo principal de 120 rpm. Estas condiciones controladas permitieron alcanzar una rugosidad superficial uniforme en el cono de $Ra = 3.2 \mu\text{m}$, la cual se confirmó al compararla con un patrón de rugosidades. Posteriormente, la superficie interior del cono se sometió a un riguroso proceso de lijado y pulido hasta alcanzar un acabado tipo espejo. Las condiciones de fabricación incluyen la selección de abrasivos, utilizando tamaños de grano específicos (200, 400, 600, 1000 y 1500).

El proceso de lijado comenzó eliminando imperfecciones y marcas de la superficie interior del cono. Para ello, se utilizaron inicialmente lijas de grano grueso y gradualmente se avanzó con las más finas. Cada paso se llevó a cabo durante 25 min, a 300 rpm en el husillo principal del torno y, posteriormente, se procedió con un pulido final durante 40 min, utilizando pastas de uso automotriz. Por razones de seguridad personal se usó una velocidad controlada de 400 rpm en el husillo principal del torno. Después de cada etapa, se hizo una inspección visual para detectar y corregir cualquier imperfección y, cuando fue necesario, se hizo un lijado y pulido adicional. La Figura 2 muestra el resultado del proceso de pulido del concentrador solar desde varios ángulos, destacando el acabado obtenido y la reflexión de la luz que genera un patrón concentrado.

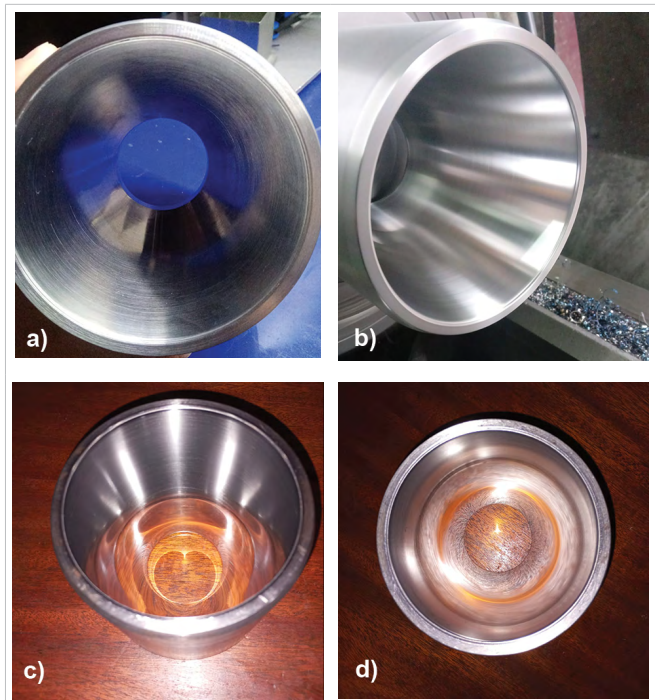


Figura 2. Cono concentrador: a) recién maquinado y con el primer proceso de lijado, b) en proceso de pulido, c) y d) con acabado tipo espejo en diferentes tomas fotográficas

Para el prisma se utilizó acrílico comercial en placa cuadrada de 102 mm y 38 mm de grosor, se mecanizó en un torno y fue sometido a un proceso de pulido similar al del cono concentrador, resultando en un material que permite el paso de luz sin desviaciones significativas ni pérdidas de intensidad [18]. Tomando en cuenta que el acrílico comercial posee una transmisión la luz cercana al 92.5 % (según la norma ASTM D-1003), el resultado final es un material óptico de alta calidad. En la [Figura 3](#) se aprecia la evolución que tuvo el acabado del prisma, considerando el maquinado, lijado y pulido.

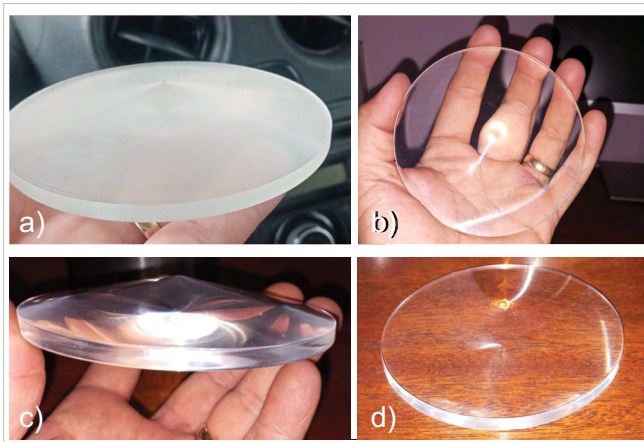


Figura 3. Prisma refractivo desarrollado: a) sin pulir, b) pulido en vista superior, c) pulido vista lateral y d) acabado final mostrado al colocarlo en una superficie.

4. Análisis experimental. En esta etapa de la metodología se utilizó una fuente de iluminación que distribuye uniformemente la luz, permitiendo simular las condiciones de radiación solar representativas. Dentro de las medidas que se implementaron para minimizar la interferencia de luz ambiental y otros factores, destaca el uso de materiales opacos y cortinas que bloquearon la entrada de luz no deseada y la proveniente de LED o luces indicadoras de aparatos electrónicos. Luego, se procedió al montaje experimental entre el prisma y el concentrador. Este proceso validó un acoplamiento preciso entre ambas piezas, ya que se diseñó con una tolerancia de ± 0.1 mm entre el cono y el prisma. Una vez ensamblados, el conjunto fue fijado en una mesa de trabajo para realizar las mediciones programadas para evaluar el rendimiento del sistema. La [Figura 4](#) muestra el montaje y fijación de los elementos del sistema.

Se buscó mantener el dispositivo de concentración de luz a una altura de 20 cm colocado horizontalmente sobre la mesa de metrología. Las mediciones de concentración

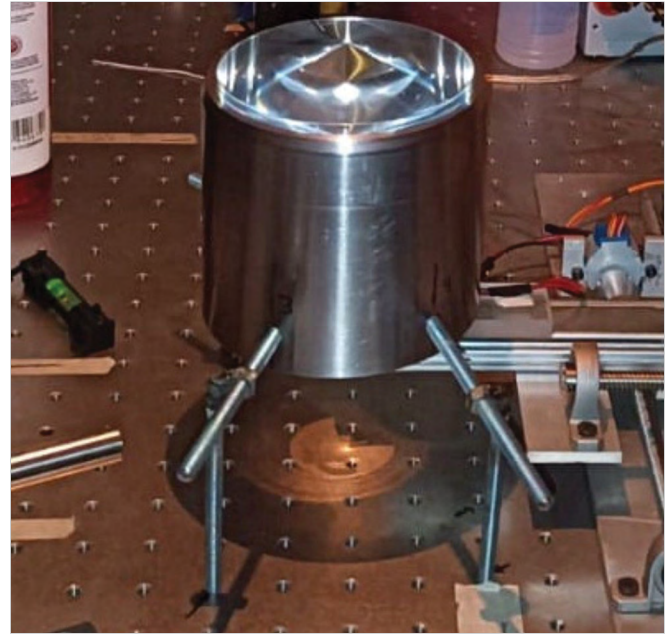


Figura 4. Montaje del prisma, como concentrador y fijación del sistema a la mesa de trabajo.

de luz se realizaron mediante un microcontrolador de código abierto, soportado por el circuito ATmega328P de Arduino. Los criterios para seleccionar la tarjeta Arduino Uno R3 son su amplia disponibilidad, bajo costo y fácil programación, además de que proporciona una interfaz intuitiva para la implementación de algoritmos de control y adquisición de datos, lo que resulta fundamental en el desarrollo del sistema de instrumentación requerido en este proyecto. El microcontrolador controla la posición de un fotodiodo BPW34 altamente sensible a la luz. Con ello, colocando el fotodiodo en diferentes puntos del plano focal del cono, se obtuvieron mediciones digitales en el intervalo $[0, 1023]$, lo que se produce a través de un convertidor analógico-digital (ADC) con resolución de 10 bits integrado en el microcontrolador [19]. Estas mediciones digitales son números adimensionales identificados por la variable m y son los factores de proporcionalidad para estimar la irradiancia. Estos factores de proporcionalidad m provienen del voltaje v_f medido en el fotodiodo y se estiman de la siguiente manera. Primeramente, $m = 0$ corresponde a $v = 0$ V y $m = 1023$ corresponde a $v = 5$ V. Luego, la relación entre m y v_f resulta del proceso de escalamiento que hace el ADC, definido según se indica en la Ecuación (2), donde $f_{Round}(\cdot)$ calcula la parte entera de un número y para este caso $v_{ref} = 5$ V.

$$m = f_{Round}\left(1023 \frac{v_f}{v_{ref}}\right) \quad (2)$$

Por otro lado, la relación lineal entre los voltajes de referencia y los captados por el fotodiodo BPW34 se estableció con base en la hoja de datos del fabricante Vishay Semiconductores [20], que indica que la corriente generada por el fotodiodo es proporcional a la intensidad de luz incidente. Con estos datos se conformó una matriz cuadrada de 20×20 , la cual fue extraída de la matriz de 35×35 que se genera desde el montaje experimental. Cada coordenada contiene las cantidades adimensionales m con valores en el intervalo $[0, 1023]$. Para la calibración del sistema se tomó como referencia el valor de $\hat{m}_{ref} = 45.47$ obtenido a partir del promedio de la matriz, con tamaño 20×20 , que registra los factores de proporcionalidad con los que se calcula la concentración solar equivalente de las 12:00 horas del día, sin que en el montaje experimental esté incluido el cono concentrador. Luego, se asumió que dicho valor promedio de referencia de los factores de proporcionalidad corresponde a una irradiancia de 1000 W/m^2 . Lo anterior se hizo conforme a lo recomendado en la norma ISO 9060:2018, la cual ayuda a establecer una irradiancia estándar para calibración de instrumentos de medición. Posteriormente, se determinaron los factores de proporcionalidad m en cada horario definido para estimar la concentración solar. Así, se trazó una curva representativa de la energía concentrada.

La [Tabla 1](#) muestra el valor promedio \hat{m} , calculado a partir de los valores m generados de las lecturas del fotodiodo realizadas en cada horario. También se expone su correspondiente irradiancia E , expresada en W/m^2 , tomando como base $\hat{m}_{ref} = 45.47$ de aquellos valores m para estimar E a partir de la irradiancia estándar $E_{std} = 1000 \text{ W/m}^2$.

TABLA 1

VALOR PROMEDIO \hat{m} DE LAS LECTURAS DEL FOTODIODO Y LOS VALORES CORRESPONDIENTES DE IRRADIANCIA SOLAR E

HORA	\hat{m}	$E \text{ (W/m}^2\text{)}$
8:00	0.85	18.58
8:30	2.50	54.93
9:00	2.91	63.89
9:30	5.55	122.11
10:00	17.51	385.09
10:30	64.34	1414.94
11:00	112.32	2470.26
11:30	162.53	3574.50
12:00	158.85	3493.51

En la [Figura 5](#) se muestra el montaje experimental para estimar E y la forma en que se ajustó la posición de la lámpara de halógeno.

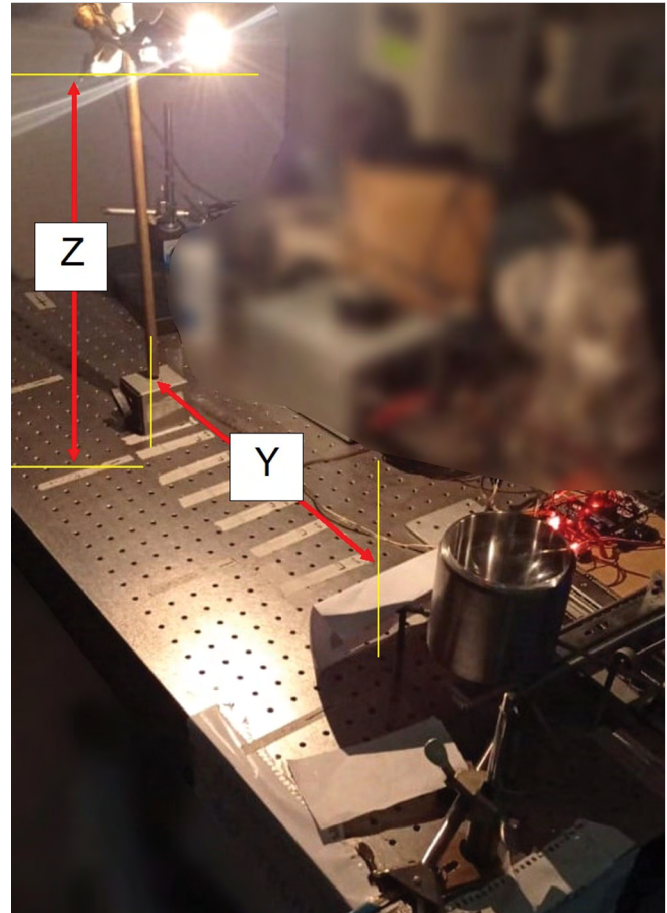


Figura 5. Montaje experimental del sistema.

El montaje experimental se describe a continuación.

1. Prisma. Posee una altura de 33.77 mm. Está acoplado al concentrador cónico mediante un ajuste justo con tolerancia $\pm 0.1 \text{ mm}$ en el diámetro.
2. Concentrador cónico. Tiene una altura de 102 mm, con diámetro mayor de 100.1 mm y menor de 50.2 mm. Posee una ranura de 0.5 mm de profundidad que sirve como asiento del prisma.
3. Sistema de varillas con ajuste roscado. Se usa para mantener elevado el sistema concentrador-prisma a 20 cm de altura y con la base del diámetro menor paralela a la mesa de trabajo.

En la [Figura 5](#) se observa también la disposición de un foco de halógeno de 100 watts y la fuente de alimentación que suministró energía al sistema de control de posición del fotodiodo. La posición de la fuente de iluminación, que emula a la luz del sol, se calculó considerando la divergencia de 0.53° aproximadamente,

experimentada por rayos solares que llegan a la tierra [16] y que emulan el movimiento aparente del sol [9], [15]. Las alturas a las que se coloca la lámpara se muestran en la [Tabla 2](#). En esta tabla, la Z representa la altura de la lámpara y Y la distancia respecto al centro del concentrador. Esta disposición se muestra esquemáticamente en la [Figura 5](#).

TABLA 2
POSICIONES DE LA LÁMPARA DE HALÓGENO

HORA	Z (m)	Y (m)
8:00	0.27	0.47
8:30	0.33	0.43
9:00	0.38	0.38
9:30	0.43	0.33
10:00	0.47	0.27
10:30	0.50	0.21
11:00	0.52	0.14
11:30	0.54	0.07
12:00	0.54	0.00

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es necesario enfatizar que la calidad de los resultados se establece con base en la precisión de 10 bits del ADC en el Arduino UNO R3, lo que permite generar 1024 valores posibles a su salida, que ocurrirán en el intervalo [0, 1023]. Esto implica una resolución aproximada de 4.89 mV por paso de conversión, considerando que el voltaje de salida leído en el fotodiodo está entre 0 y 5 V. Este voltaje a su vez depende de la luz que incide en dicho fotodiodo. A partir de esto, y con base en los principios reconocidos en metrología, es posible determinar la incertidumbre en estas mediciones. En ese sentido, Morris [21] señala que la incertidumbre en las mediciones digitales puede considerarse proporcional a la resolución del ADC. Por otro lado, Webster y Eren [22] precisaron que la resolución del ADC afecta la precisión de las mediciones digitales en ± 0.5 veces el tamaño del paso del ADC, lo que en este caso equivale aproximadamente a ± 2.44 mV, considerando dos dígitos en la representación de estos voltajes expresados en milivoltios. Asimismo, considerando que la variable \hat{m} se está estimando con cálculo a centésimas, es decir, la cantidad más pequeña que puede representar es 0.01, $U_m = \pm 0.005$ resulta ser su incertidumbre implícita. Con ello, usando las Ecuaciones (3) y (4) se puede estimar E con incertidumbre, de manera que la incertidumbre para E es $U_E = \pm 0.11$ W/m².

$$E_U + E \pm U_E \quad (3)$$

donde U_E queda definida por

$$U_E = \pm \frac{U_m}{\hat{m}_{ref}} E_{std} \quad (4)$$

La recolección de datos se llevó a cabo para los diferentes horarios definidos, según las distancias indicadas en la [Tabla 2](#). Estos intervalos de medición, programados cada media hora, permitieron obtener una serie temporal de datos que se incluyen en las matrices de 35×35 con los factores de proporcionalidad de irradiancia. Estas matrices constituyen patrones de concentración solar a lo largo del día, según la [Figura 6](#). Estos patrones corresponden a los horarios indicados en la [Tabla 2](#).

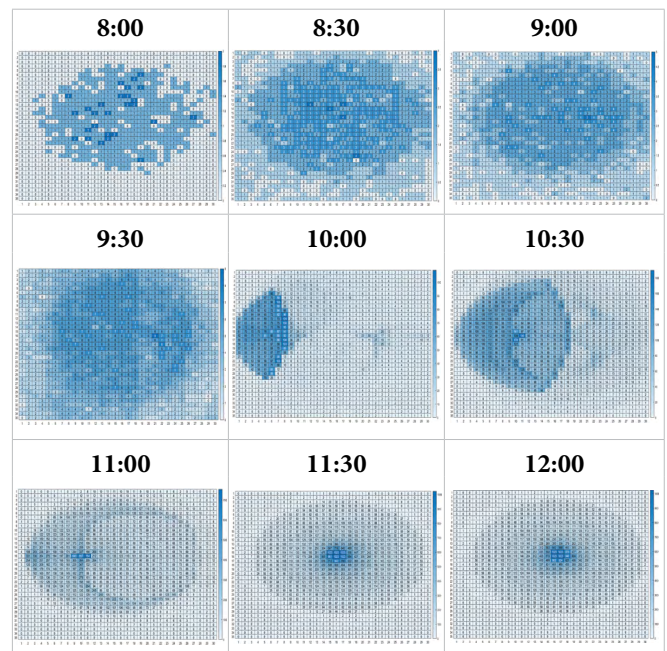


Figura 6. Factores de proporcionalidad de irradiancia correspondiente a los horarios definidos en la [Tabla 2](#).

Cabe destacar que el patrón generado por los factores de proporcionalidad indicados en la [Figura 6](#) para las 12:00 horas del día, corresponde con el patrón generado por la luz en la [Figura 7](#). Tras llevar a cabo las mediciones en los nueve horarios indicados en la [Tabla 2](#), se generaron los 9 patrones de concentración presentados en la [Figura 6](#). Los valores presentados en la [Tabla 1](#) se muestran graficados en la [Figura 8](#).

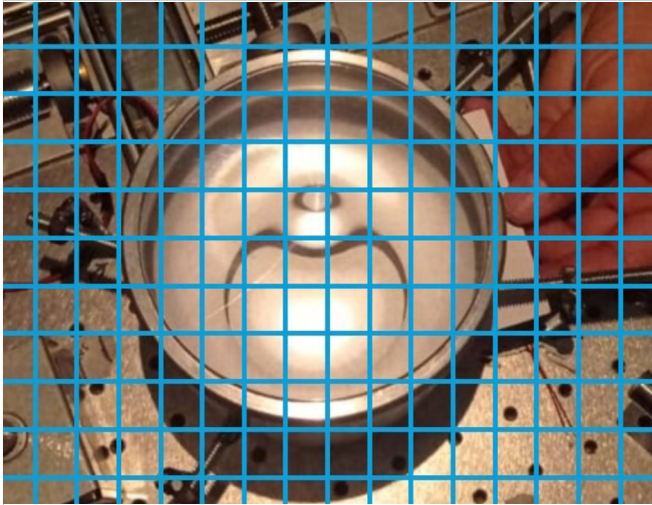


Figura 7. Patrón de concentración de luz correspondiente a las 12:00 horas.

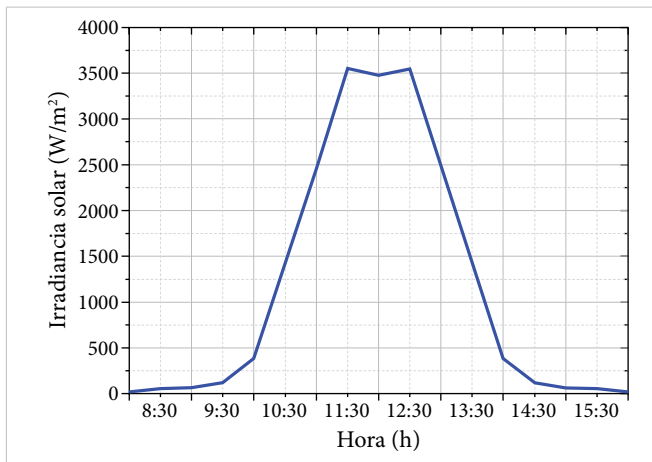


Figura 8. Curva de irradiancia solar en W/m² para el lapso de 8:00 a 16:00 horas.

Los resultados ofrecen una vista completa del comportamiento del sistema de concentración frente a la irradiancia solar y revelan a la vez patrones de concentración fundamentales para evaluar al sistema. La irradiancia solar proporciona información sobre el rendimiento del sistema de concentración refractivo-reflexivo en la captación y concentración de energía solar. Además, permiten comparar al sistema contra otros dispositivos similares bajo diferentes condiciones de iluminación, aportando información útil para la optimización futura de esta tecnología.

La evaluación de los sistemas de concentración solar, para una localidad geográfica específica, limita la comparación con sistemas solares usados en otras ubicaciones geográficas. Por ello, la comparación del sistema desarrollado en este estudio contra el de Luque-Zúñiga

et al. [15] se realizó usando los resultados reportados para los factores de concentración y la eficiencia lograda en condiciones de simulación. Note que ambos concentradores son de dimensiones diferentes y, en el desarrollado en este trabajo, se redujeron al máximo las imperfecciones en el interior del concentrador. Estas diferencias hacen que el prototipo desarrollado tenga una mayor concentración respecto al de Luque-Zúñiga et al. [15], lo cual se puede ver reflejado en la Figura 9. La eficiencia estimada para el primero resultó ser de 73.39 %, mientras que para el segundo se reportó de 69.36 %.

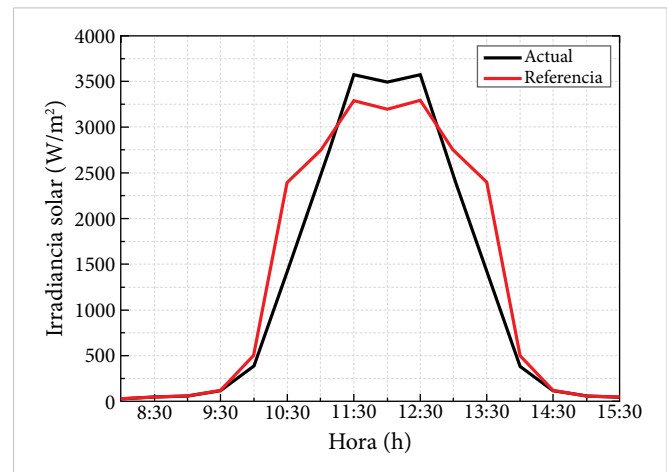


Figura 9. Comparación de la irradiancia solar estimada para el prototipo desarrollado contra la del prototipo de referencia.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la distribución de la concentración de luz alcanza su punto máximo en el centro del plano focal y disminuye gradualmente hacia los bordes. La eficiencia máxima estimada fue de 73.39 % en el punto focal central. Esta distribución de concentración es consistente con las expectativas y sugiere que el sistema desarrollado logra ser efectivo al concentrar la luz solar incidente. En comparación con el trabajo adoptado como referencia, se obtuvo un aumento de la eficiencia de 4.03 % aproximadamente. La eficiencia observada en condiciones controladas de iluminación sugiere un potencial uso en la captación eficiente y sostenible de energía solar en aplicaciones prácticas, por ejemplo, la concentración de calor para generar termoelectricidad. Sin embargo, es esencial reconocer que los resultados se obtuvieron en un entorno controlado de iluminación. Por tanto, es recomendable que se realicen otros experimentos en condiciones reales que incluyan factores relevantes como el clima. También, es necesario llevar a cabo pruebas adicionales en condi-

ciones más cercanas a la aplicación final para validar el rendimiento del sistema. Finalmente, este trabajo genera otras perspectivas para futuras investigaciones que estimen de forma cuantitativa la eficiencia del sistema ante las fluctuaciones y variaciones de la energía solar, según las condiciones climáticas.






REFERENCIAS

- [1] L. V. Kontrosh, V. S. Kalinovsky, A. V. Khramov y E. V. Kontrosh, "Estimation of the chemical materials volumes required for the post-growth technology manufacturing InGaP/GaAs/Ge with a concentrator and planar α -Si:H/Si solar cells for 1 MW solar power plants", *Clean. Eng. Technol.*, vol. 4, 2021, art. n.º 100186, doi: [10.1016/j.clet.2021.100186](https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100186).
- [2] X. Apaolaza-Pagoaga, A. Carrillo-Andrés, C. Rodrigues y F. Fernández-Hernández, "The effect of partial loads on the performance of a funnel solar cooker", *Appl. Therm. Eng.*, vol. 219, parte C, 2023, art. n.º 119643, doi: [10.1016/j.applthermaleng.2022.119643](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119643).
- [3] A. K. Azad y S. Parvin, "Bibliometric analysis of photovoltaic thermal (PV/T) system: From citation mapping to research agenda", *Energy Reports*, vol. 8, pp. 2699-2711, 2022, doi: [10.1016/j.egy.2022.01.182](https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.182).
- [4] H. Kaiyan, Z. Hongfei, T. Tao y X. Xiaodi, "Experimental investigation of high temperature congregating energy solar stove with sun light funnel", *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, n.º 12, pp. 3051-3055, 2009, doi: [10.1016/j.enconman.2009.08.009](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.08.009).
- [5] A. Menéndez-Velázquez et al., "Towards a luminescent solar concentrator with ultra-broadband absorption and spectral conversion for optimizing photovoltaic solar cell response: 'The photonic cannon shot'", *Optical Materials*, vol. 142, 2023, art. n.º 114005, doi: [10.1016/j.optmat.2023.114005](https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114005).
- [6] A. H. Alami, A. Olabi, A. Mdallal, A. Rezk, A. Radwan, S. M. A. Rahman, S. K. Shah y M. A. Abdelkareem, "Concentrating solar power (CSP) technologies: Status and analysis", *Int. J. Thermofluids*, vol. 18, n.º 3, 2023, art. n.º 100340, doi: [10.1016/j.ijft.2023.100340](https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100340).
- [7] H. Zheng, G. Wu, T. Tao, Y. Su y J. Dai, "Combination of a light funnel concentrator with a deflector for orientated sunlight transmission", *Energy Convers. Manag.*, vol. 88, pp. 785-793, 2014, doi: [10.1016/j.enconman.2014.09.004](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.004).
- [8] A. Carrillo-Andrés, X. Apaolaza-Pagoaga, C. Rodrigues, E. Rodríguez-García y F. Fernández-Hernández, "Optical characterization of a funnel solar cooker with azimuthal sun tracking through ray-tracing simulation", *Solar Energy*, vol. 233, pp. 84-95, 2022, doi: [10.1016/j.solener.2021.12.027](https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.12.027).
- [9] G. Luque-Zuñiga, R. Vázquez-Medina, G. Ramos-López, H. Yee-Madeira y D. A. Pérez-Márquez, "Increase of solar harvest time with a double static concentration refractive-reflective system", *2020 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, Ixtapa, Mexico, 2020, pp. 1-5, doi: [10.1109/ROPEC50909.2020.9258725](https://doi.org/10.1109/ROPEC50909.2020.9258725).
- [10] A. J. Grede, J. S. Price y N. C. Giebink, "Fundamental and practical limits of planar tracking solar concentrators", *Opt. Express*, vol. 24, n.º 26, pp. A1635, 2016, doi: [10.1364/OE.24.0A1635](https://doi.org/10.1364/OE.24.0A1635).
- [11] S. S. Salvi et al., "Technological advances to maximize solar collector energy output: a review", *J. Electron. Packag.*, vol. 140, n.º 4, 2018, doi: [10.1115/1.4041219](https://doi.org/10.1115/1.4041219).
- [12] A. Shahsavari y M. Akbari, "Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 90, pp. 275-291, 2018, doi: [10.1016/j.rser.2018.03.065](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065).
- [13] S. Gorjian et al., "A review on recent advancements in performance enhancement techniques for low-temperature solar collectors", *Energy Convers. Manag.*, vol. 222, 2020, art. n.º 113246, doi: [10.1016/j.rser.2018.03.065](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065).
- [14] F. Masood et al., "The compound parabolic concentrators for solar photovoltaic applications: Opportunities and challenges", *Energy Reports*, vol. 8, pp. 13558-13584, 2022, doi: [10.1016/j.egy.2022.10.018](https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.018).
- [15] G. Luque-Zuñiga, R. Vázquez-Medina, G. Ramos-López, D. A. Pérez-Márquez y H. Yee-Madeira, "Simulation and Experimental Evaluation of a Refractive-Reflective Static Solar Concentrator", *Energies*, vol. 16, n.º 3, 2023, doi: [10.3390/en16031071](https://doi.org/10.3390/en16031071).
- [16] X. Xiaodi, Z. Hongfei, H. Kaiyan, C. Zhili, T. Tao y X. Guo, "Experimental study on a new solar boiling wa-

- ter system with holistic track solar funnel concentrator”, *Energy*, vol. 35, n.º 2, pp. 692-697, 2010, doi: [10.1016/j.energy.2009.10.033](https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.033).
- [17] J. Li et al., “Thermodynamic investigation of spectral splitting hybrid system integrated Cassegrain concentrator and mid/low-temperature solar thermochemical storage”, *Renewable Energy*, vol. 217, 2023, art. n.º 119152, doi: [10.1016/j.renene.2023.119152](https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119152).
- [18] D. Malacara, “Mathematical Representation of an Optical Surface and Its Characteristics”, en *Optical Shop Testing*, 3.ª ed., E. Malacara, ed. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007, cap. 18, pp. 832-851, doi: [10.1002/9780470135976.ch18](https://doi.org/10.1002/9780470135976.ch18).
- [19] Atmel Corporation, “8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash”, ficha técnica de ATmega328P, 2016 [Rev.: 7810D-AVR-01/15].
- [20] Vishay Intertechnology, “Silicon PIN Photodiode”, ficha técnica de BPW34 y BPW34S, 2024 [Rev.: 2.1, 23-ag.-11].
- [21] A. S. Morris, *Measurement and Instrumentation Principles*, 3.ª ed. Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 2001, pp. 1743-1744.
- [22] J. G. Webster y H. Eren, eds., *Measurement, instrumentation, and sensors handbook: spatial, mechanical, thermal, and radiation measurement*, 2.ª ed. Boca Ratón: CRC Press, 2017.

Evaluación de la carga de trabajo mental para la nivelación de cama en impresoras de filamento

Evaluation of the mental workload in the leveling of the bed in filament printers

Pablo Antonio Muñoz Gutiérrez^{1a}  , Juan Luis Hernández Arellano^{1b} , Aidé Aracely Maldonado-Macías^{1b} , David Cortés Sáenz^{1a} 

^{1a}Doctorado en Diseño; Departamento de Diseño; Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte; ^{1b}Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Avanzada, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

RESUMEN

El uso de tecnologías como las impresoras 3D de filamento ayuda a afrontar un mercado abierto donde el conocimiento, desarrollo e innovación se convierten en los pilares de competitividad, facilitando el desarrollo e innovación de los productos. Por lo tanto, resulta necesario investigar la carga de trabajo que representa la puesta a punto de estos equipos. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la carga de trabajo percibida durante la calibración de la mesa de impresión, que es uno de los pasos para la puesta a punto de una impresora 3D. La carga de trabajo se determinó mediante la aplicación NASA-TLX, la cual proporciona el nivel individual de seis dimensiones (exigencia mental, exigencia física, exigencia temporal, esfuerzo, rendimiento y frustración) y el nivel global. Como resultado, se obtuvieron niveles altos de carga de trabajo. Las conclusiones derivadas del estudio ayudan a identificar posibles áreas de mejora y a entender los principales problemas que se pueden presentar durante esta actividad.

PALABRAS CLAVE: NASA-TLX; impresora 3D; evaluación; carga de trabajo.

ABSTRACT

The use of technologies such as filament 3D printers helps to face an open market where knowledge, development and innovation become the pillars of competitiveness, facilitating the development and innovation of products. Therefore, it is necessary to investigate the workload represented by the tuning of this equipment. The objective of this research is to evaluate the perceived workload during the calibration of the printing table, which is one of the steps for fine-tuning a 3D printer. The workload was determined using the NASA-TLX application, which provides the individual level of six dimensions (mental demands, physical demands, temporal demands, own performance, effort, and frustration) and the global level. As a result, high levels of workload were obtained. The conclusions derived from the study help to identify possible areas of improvement and understand the main problems that may arise during this activity.

KEYWORDS: NASA-TLX; 3D printer; evaluation; workload.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Pablo Antonio Muñoz Gutiérrez
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte
DIRECCIÓN: Av. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al229150@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 9 de enero de 2024. **Fecha de aceptación:** 15 de mayo de 2024. **Fecha de publicación:** 28 de junio de 2024.



I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de tecnologías como las impresoras 3D ayuda a enfrentar un mercado abierto en el que el conocimiento, el desarrollo e innovación se convierten en los pilares de competitividad [1], [2]. La impresión 3D presenta una nueva forma de elaborar productos con diferentes métodos, como la estereolitografía, sinterización selectiva por láser, fotopolimerización por luz UV, fusión láser y modelado por deposición fundida [2], [3], [4], [5], y ofrece nuevos horizontes para el desarrollo de prototipos y productos, lo que genera nuevas oportunidades de investigación para la ergonomía en el campo de la interacción humano-producto.

Este trabajo se enfoca en el modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés), ya que representa una de las principales técnicas para el prototipado rápido en impresión 3D [1], [6] y su principal ventaja es la facilidad para encontrar recursos entre investigadores, así como del público en general, pues constituye una alternativa rápida y de bajo costo frente a otras técnicas de manufactura [6]. No obstante, los equipos más económicos tienen algunas características, como la elaboración del código de impresión (laminado), el cambio de filamento, el nivelado de la cama y otros detalles, que constituyen áreas de oportunidad para implementar mejoras.

Las investigaciones recientes se han enfocado en la aplicación del método NASA-TLX, el cual contribuye a evaluar la carga de trabajo, es utilizado ampliamente en diversas investigaciones [7], [8], [9] y se ha convertido en un punto de referencia para mejorar la toma de decisiones en un largo periodo de ejecución y diseño de la tarea [10].

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El modelo de deposición fundida se puede destacar como una de las tecnologías de fabricación aditiva más populares, principalmente debido a su costo asequible y los materiales de bajo costo utilizados [11], ayudando a que muchas empresas la tomen como base para iniciar el prototipado y una producción más económica. A pesar de sus ventajas, esta tecnología tiene una serie de limitaciones, como la baja precisión dimensional y geométrica [12], así como factores que afectan la estabilidad propia de la máquina, tales como velocidad de impresión, velocidad de extrusión, temperatura del lecho y ángulo de trama [13].

Estos problemas afectan la mayoría de las impresoras de bajo costo, siendo el principal efecto la pérdida de tiempo en la configuración para la puesta a punto de la máquina. La dificultad para configurar los parámetros de construcción y la fuerte influencia de estas variables en la calidad dimensional de las piezas [11], propicia la aplicación de métodos que permitan identificar los factores clave de la puesta a punto de la impresora, así como a mantener estas configuraciones por mayor tiempo para evitar que se detenga la producción. La nivelación de la cama de impresión es un subproceso de la puesta a punto de impresoras 3D de bajo costo. A pesar de la relevancia, poco o nada se ha explorado en la literatura el nivel de carga mental que demanda esta tarea, siendo el proceso de nivelación de la cama de impresión uno de los aspectos más críticos para tener éxito en la impresión de cualquier diseño.

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación es evaluar la carga de trabajo percibida durante la calibración de la mesa de impresión, uno de los pasos fundamentales para la puesta a punto de una impresora 3D de deposición fundida. Además, se buscó identificar las actividades que componen la configuración necesaria para la puesta a punto de una impresora 3D de deposición fundida, con el fin de evaluar la carga mental generada por estas tareas utilizando el método NASA-TLX. Se utilizó el método NASA-TLX para evaluar la carga de trabajo, proporcionando niveles individuales de las seis dimensiones (exigencia mental, exigencia física, exigencia temporal, esfuerzo, rendimiento y frustración) y un nivel global. Se planteó que los resultados obtenidos posibiliten identificar áreas de mejora y comprender los principales desafíos asociados a esta actividad.

II. METODOLOGÍA

El diseño de esta investigación es transversal, exploratorio y descriptivo. La evaluación de la puesta a punto de la impresora se realizó en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

- a) Etapa 1. El estudio se realizó con el apoyo de 3 técnicos en impresión 3D, seleccionados a conveniencia cumpliendo los siguientes criterios de inclusión: contar con al menos 6 meses de experiencia en impresión 3D, manejo de impresoras de bajo costo que requieran nivelación de cama de impresión,

estar laborando en algún centro de impresión 3D (público o privado) en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Los técnicos seleccionados brindaron la información necesaria para realizar el análisis jerárquico de tareas [11] para la puesta a punto de una impresora.

- b) Etapa 2. Se efectuó un análisis para identificar el error humano partiendo del Análisis Jerárquico de Tareas (AJT), dentro del cual se examinan todos los posibles estados de interacción hombre-máquina para conformar los diagramas de estado-espacio (SSD, por sus siglas en inglés). Los estados expresados en el SSD son representaciones gráficas del comportamiento del dispositivo o producto en interacción con el usuario y cada uno de ellos representa uno de los posibles estados de la interacción humano-dispositivo durante la tarea [12].

Una vez que se obtuvieron los SSD, estos se analizaron dentro de una matriz de transición, en la cual se estudian las transacciones entre estados, y se les asignó uno de los estados siguientes: *legal*, *ilegal* e *imposible*. Si la transición dada fue imposible, quedó un guion (-), si fue legal y deseada se puso una letra L y, por último, si fue ilegal y no deseada se colocó una I.

Tras ser analizadas todas las transacciones posibles, se evaluaron los casos donde se presentó una transición ilegal e imposible, lo cual ayudó a desarrollar

soluciones de diseño con el fin de eliminar o reducir el error humano.

- c) Etapa 3. Con la ejecución del método NASA-TLX se obtuvo la carga de trabajo mental y física, definida esta como la cantidad de esfuerzo mental que se debe desarrollar para lograr un resultado concreto. La aplicación se divide en dos fases: la primera de ponderación, en la cual se genera una evaluación individual de las seis subescalas y se usa para definir la fuente de carga, y la segunda consiste en la evaluación de las seis escalas relacionadas con el trabajo, a fin de obtener el promedio de carga mental, el cual se compara entre los trabajadores para evaluar la carga mental de una tarea.

Todas las etapas fueron realizadas con el apoyo y la colaboración directa de los técnicos en impresión 3D, lo cual dio certeza a los resultados obtenidos que se presentan en la siguiente sección.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de cada una de las etapas de la metodología propuesta se muestran a continuación:

- a) Con el AJT se evaluó la puesta a punto de la impresora, siendo el objetivo general nivelar la cama, y posteriormente, los subobjetivos fueron desglosados en tareas más simples explicadas en la [Figura 1](#).

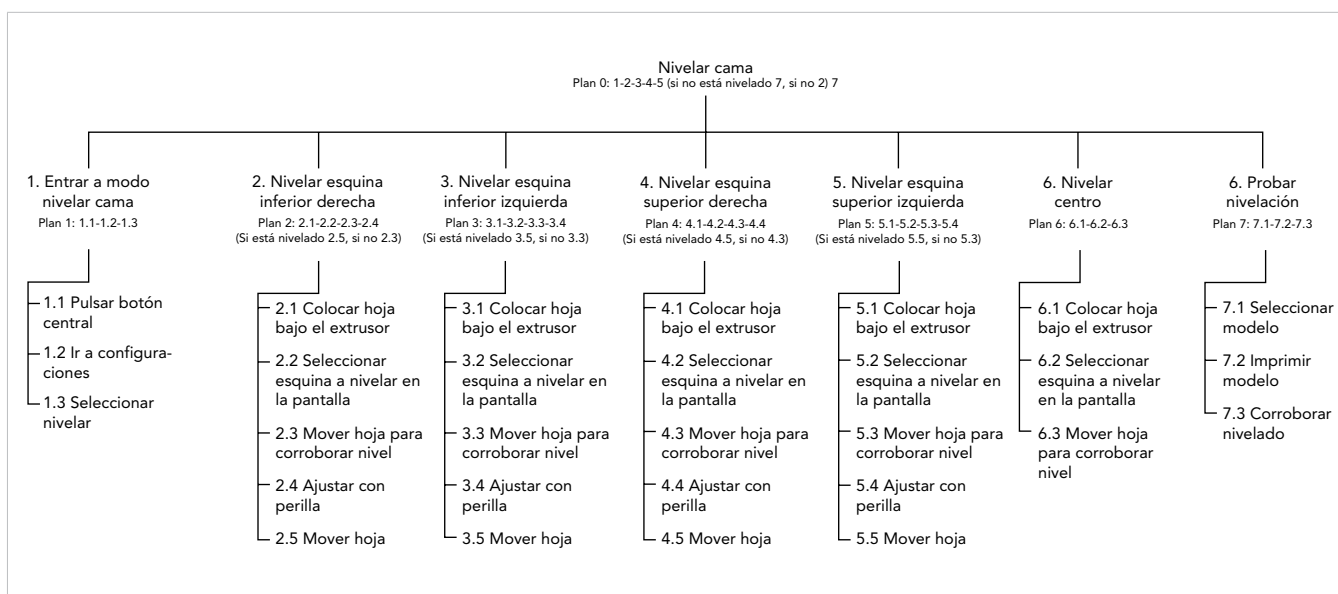


Figura 1. Análisis Jerárquico de Tareas.

b) Para el análisis de identificación del error humano se partió del AJT con el fin de desarrollar los SSD (Figura 2) y se obtuvieron siete estados, partiendo de 0: impresora apagada, nivelado de esquina superior izquierda (ESI), nivelado de esquina supe-

rior derecha (ESD), nivelado de esquina inferior izquierda (EII), nivelado esquina inferior derecha (EID), nivelado centro (C), prueba de nivelado y evaluación de nivelado. La transición entre tareas se da en 1, 2, 6 y 7 (representado por una línea azul).

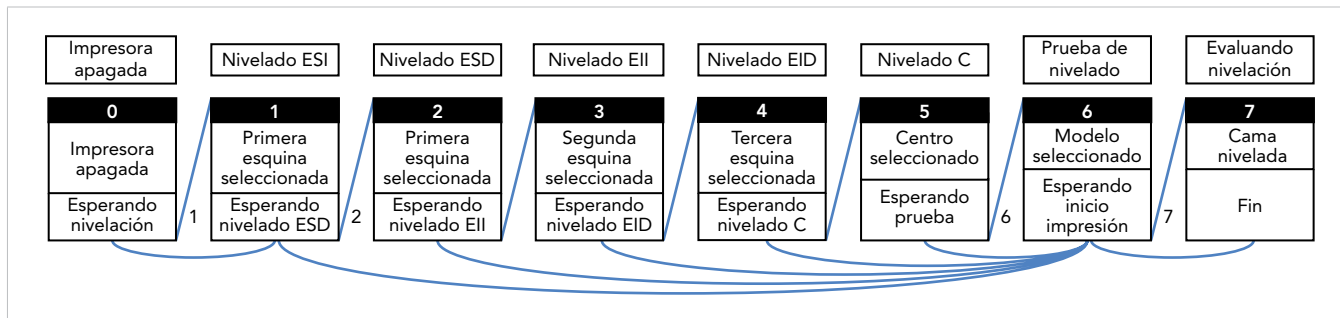


Figura 2. Diagramas de estado-espacio.

Al obtener el SSD, se realizó una matriz de transición (Tabla 1), donde se halló que las acciones ilegales están relacionadas con el estado 0: apagado, lo cual es lógico pues el dispositivo no está funcionando. Los demás problemas se presentaron en las fases finales en las que se debe seleccionar un modelo para evaluar el nivelado. A pesar de no contar con un estado posible que permita preevaluar la cama de manera fácil sin la selección de un modelo, se puede observar que la evaluación del nivelado se encontró incompatible con la evaluación del centro de la cama. No obstante, el centro no es un elemento fiable para evaluar la nivelación de la cama, por lo que los usuarios prefieren colocar las piezas en áreas más cercanas a los tonillos de ajuste en lugar del centro, que puede ser el área más difícil de nivelación, ya que depende de que las cuatro orillas estén bien niveladas.

TABLA 1
MATRIZ DE TRANSICIÓN

		Al estado							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Desde el estado	0	-	L	I	I	I	I	I	I
	1		-	L	L	L	I	I	I
	2			-	L	L	I	I	I
	3				-	L	I	I	I
	4					-	L	I	I
	5						-	L	I
	6							-	L
	7								-

c) Los resultados de la aplicación NASA-TLX y de los tres participantes se muestran en las Tablas 2, 3 y 4. El promedio obtenido de 67.32 puntos se interpreta como un nivel de dificultad alto. No obstante, los tres análisis realizados, además de mostrar la media ponderada, no expusieron el nivel de experiencia con las impresoras 3D de las personas a quienes se les aplicó el NASA-TLX, por lo que es importante observar cómo repartieron los pesos en los tres técnicos (Tabla 5).

La dimensión *exigencia temporal* fue la variable que tuvo mayor peso, debido a que el proceso de nivelado suele ser lento y si se cometen errores en el nivelado, se termina por reiniciar toda la tarea. La segunda variable que ganó mayor peso fue *frustración*, que se reflejó en el reinicio de la tarea y en la imposibilidad de ver de una manera clara la buena nivelación de la cama hasta el lanzamiento de una prueba, lo cual toma tiempo. La tercera variable con mayor impacto resultó ser *exigencia mental*.

TABLA 2
MEDIA PONDERADA APLICACIÓN 1

VARIABLE	PESO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN CONVERTIDA	PUNTUACIÓN PONDERADA
Exigencia mental	1	2	2	2
Exigencia física	2	4	8	16
Exigencia temporal	3	12	36	108
Esfuerzo	1	3	3	3
Rendimiento	4	8	32	128
Frustración	2	8	16	32
Total				289
Media ponderada global: 48.16				

TABLA 3
MEDIA PONDERADA APLICACIÓN 2

VARIABLE	PESO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN CONVERTIDA	PUNTUACIÓN PONDERADA
Exigencia mental	2	4	8	4
Exigencia física	0	2	0	0
Exigencia temporal	5	12	60	300
Esfuerzo	2	6	12	24
Rendimiento	3	2	6	18
Frustración	3	8	24	72
Total				418
Media ponderada global: 69.66				

TABLA 4
MEDIA PONDERADA DE LA APLICACIÓN 3

VARIABLE	PESO	PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN CONVERTIDA	PUNTUACIÓN PONDERADA
Exigencia mental	2	4	8	16
Exigencia física	0	2	0	0
Exigencia temporal	5	12	60	300
Esfuerzo	0	2	0	0
Rendimiento	4	4	16	64
Frustración	4	8	32	128
Total				508
Media ponderada global: 84.16				

TABLA 5
PESOS DE APLICACIONES

VARIABLE	PESOS		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
Exigencia mental	4	3	3
Exigencia física	3	4	4
Exigencia temporal	2	1	1
Esfuerzo	4	3	4
Rendimiento	1	2	2
Frustración	3	2	2

IV. CONCLUSIONES

La aplicación del método NASA-TLX resultó ser de gran relevancia para detectar oportunidades de mejoras durante la nivelación de la cama en impresoras de filamento. El AJT permitió una visualización de cómo se realiza la tarea, mientras que con el SSD se observaron las interacciones de la matriz de transición que dejó ver cómo se genera un bloque de procesos ilegales relacionados con la prueba final de la impresora, la cual bien podría ser implementada por el fabricante como un paso inicial ayudando al usuario a acelerar la nivelación de la cama para dar un inicio rápido al proceso de impresión

La aplicación del NASA-TLX mostró una calificación global de 67.32, lo que significa que es una tarea difícil de realizar. No obstante, en las aplicaciones se puede apreciar que entre los participantes los que tuvieron una carga mental más moderada son aquellos que estaban más familiarizados con la impresora y su puesta a punto. Los pesos otorgados por los participantes indican que el orden de dificultades es el mismo, siendo el más alto el *esfuerzo temporal* seguido de *frustración*, *rendimiento*, *exigencia mental* y *exigencia física*. En consecuencia, se puede establecer un orden de relevancia para los aspectos a abordar en la posible mejora o rediseño.

Para esto se recomienda trabajar en lo anteriormente mencionado, un patrón de preimpresión rápido que permita evaluar el nivelado de la cama antes de iniciar una nueva nivelación entre impresiones, pues de esta forma se pueden reiniciar más rápido los ciclos de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] T. Meneses, Y. González, A. L. Bautista y J. M. Reyes, "Proceso de manufactura aditiva para prototipado rápido de prótesis de extremidades inferiores de bajo costo", en *Avances de Investigación en Ingeniería Aplicada*, F. Pech, N. Tass, B. Domínguez, J. J. Guzmán, R. E. Coop y C. I. Rejón, eds., Balancán, Tabasco, México: Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, 2022, cap. 2, pp. 283-298.
- [2] J. Velasquez Costa, "Procesos de Manufactura con tecnología 3D", *CTScafe*, vol. III, n.º 7, mar. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/338817261>
- [3] M. León-Calero, Á. Marcos-Fernández y J. Rodríguez-Hernández, "Impresión 3D con materiales elastoméricos", *Revista de Plásticos Modernos*, vol. 118, n.º 747, pp. 5-15, jul. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/203003/1/777537.pdf>
- [4] I. Valls y D. Blay, "Impresora 3D de Resina por Estereolitografía", trabajo de grado, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [5] J. V. González-Sosa y S. M. García-Carranco, "Análisis de varianza en manufactura aditiva con impresión 3D",


- DYNA, vol. 90, n.º 227, pp. 167-175, 2023, doi: [10.15446/dyna.v90n227.107364](https://doi.org/10.15446/dyna.v90n227.107364).
- [6] S. V. Lopaczek y A. Raffin, “Pielas Arquitectónicas Dinámicas. Prototipos a escala mediante prototipado rápido, microcontroladores y patrones plegados”, *Actas de Diseño*, vol. 43, pp. 116-120, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/actas/article/view/9680/16311>
- [7] S. G. Hart, “NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later”, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 50, n.º 9, pp. 904-908, 2006, doi: [10.1177/154193120605000909](https://doi.org/10.1177/154193120605000909).
- [8] K. Virtanen, H. Mansikka, H. Kontio y D. Harris, “Weight watchers: NASA-TLX weights revisited”, *Theor Issues Ergon Sci*, vol. 23, n.º 6, pp. 725-748, 2022, doi: [10.1080/1463922X.2021.2000667](https://doi.org/10.1080/1463922X.2021.2000667).
- [9] S. Rubio, E. Díaz, J. Martín y J. M. Puente, “Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods”, *Applied Psychology*, vol. 53, n.º 1, pp. 61-86, en. 2004, doi: [10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x](https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x).
- [10] J. I. Aguilar-Duque, J. L. Hernández-Arellano, A. Y. Tovar-Hernández, J. H. Restrepo-Correa y Á. F. Campoya-Morales, “Human error reduction in setting up fused filament fabrication equipment”, en *Ergonomía Ocupacional Investigaciones y Soluciones*, C. Espejo, E. Chacón, E. de la Vega y F. O. López, eds., México: Sociedad de Ergonomistas de México, 2019, vol. 12, pp. 69-80.
- [11] J. L. Varela-Aldás, “Impresión 3D y COVID-19”, *CienciAmérica*, vol. 9, n.º 2, pp. 51-57, may. 2020, doi: [10.33210/ca.v9i2.292](https://doi.org/10.33210/ca.v9i2.292).
- [12] M. S. Marín y J. E. Vargas, “Fabricación de Prótesis Ocular Mediante Impresión 3D Artículo de Revisión”, Universidad Antonio Nariño, Medellín, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uan.edu.co/items/27838f03-ca22-4754-a333-603966e6ff71>
- [13] B. Martí, “Estudio Sobre la Optimización de los Parámetros de Fabricación en una Impresora 3D con Tecnología FDM”, trabajo de fin de grado, Escola d’Enginyeria de Barcelona Est, Universitat Politècnica de Catalunya, 2017. [En línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106056/TFG_Volumen_I_Memoria.pdf

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no hay conflicto de interés en la publicación del presente trabajo.

Propuesta para mejorar el control de inventarios de implementos de seguridad en una empresa constructora

Proposal to enhance inventory control of safety equipment in a construction company

Elmer Ahumada Figueroa^{1a}✉, Mario Chong^{1b} 

^{1a}Maestría de Supply Chain Management, ^{1b}Departamento Académico de Ingeniería, Universidad del Pacífico, Lima, Perú

RESUMEN

La presente investigación surge de la necesidad de una empresa constructora del Perú de mejorar la gestión de los inventarios de los equipos de protección de personal (EPP) en uno de sus proyectos de construcción. Debido a que la compañía cuenta con procesos manuales que ralentizan sus operaciones, el objetivo de este trabajo es mejorar la eficiencia en la gestión y, consecuentemente, incrementar su productividad en los despachos. Se aplicó una metodología ya probada en otros estudios de caso donde se realizan cambios en la política de gestión e implementación de la tecnología de información y comunicación (TIC). Se analizó el flujo de actividades y se midieron los tiempos, teniendo un total de 34.5 minutos, se hizo una revisión de datos históricos de despachos, donde inicialmente se tenía a 150 personas por día y se propuso una inversión inicial de 11 960 USD en una TIC. Luego de la mejora del proceso, de cambios en la política de despachos y de la inversión en una TIC, se redujo el tiempo de atención en un 40.58 %, logrando llegar a 20.5 minutos en todo el proceso. Con los cambios en las políticas de gestión de almacenes y una inversión significativa se logró mejorar la atención de los despachos, haciendo al área de almacenes más eficiente y productiva.

PALABRAS CLAVE: gestión de almacén; logística; almacenes; TIC.

ABSTRACT

This research arises from the need of a construction company in Peru to improve inventory management of personal protective equipment (PPE) in one of its construction projects. Because the company has manual processes that slow down its operations, the objective of this work is to improve management efficiency and, consequently, increase productivity in the offices. A methodology already tested in other case studies was applied where changes are made in the management policy and implementation of information and communications technology (ICT). The flow of activities was analyzed and the times were measured, having a total of 34.5 minutes, a review of historical office data was made, where initially there were 150 people per day and an initial investment of USD 11,960 was proposed in an ICT. After the improvement of the process, changes in the dispatch policy and the investment in an ICT, the service time was reduced by 40.58%, reaching 20.5 minutes throughout the process. With changes in warehouse management policies and a significant investment, it was possible to improve the attention of the offices, making the warehouse area more efficient and productive.

KEYWORDS: warehouse management; logistic; warehouses; ICT.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Elmer Ahumada Figueroa
INSTITUCIÓN: Universidad del Pacífico / Maestría de Supply Chain Management
DIRECCIÓN: Jirón Sánchez Cerro 2121, Jesús María, 15072, Lima, Perú
CORREO ELECTRÓNICO: e.ahumadaf@alum.up.edu.pe

Fecha de recepción: 23 de febrero de 2024. **Fecha de aceptación:** 15 de junio de 2024. **Fecha de publicación:** 19 de julio de 2024.



I. INTRODUCCIÓN

El lugar de estudio del presente trabajo es una empresa constructora con más de 85 años de funcionamiento en el Perú, que opera a nivel nacional y se dedica a diversas líneas de negocio, incluyendo la construcción de infraestructuras, viviendas, hidroeléctricas, aeropuertos, plantas industriales y servicios mineros. Para la aplicación de esta propuesta de mejora, el enfoque deberá ser en un proyecto EPC (Ingeniería, Compras y Construcción), donde la empresa asume la responsabilidad del diseño, la adquisición de suministros, el desarrollo del proyecto y su puesta en marcha [1], además de tener una cantidad variables de trabajadores según avances del mismo proceso constructivo y distintas disciplinas funcionando en paralelo.

El área de almacenes es una pieza importante dentro de la gestión en la Cadena de Abastecimiento (CA) para satisfacer necesidades de los clientes [2]. Los procesos del almacén deben estar alineados con el flujo y los objetivos específicos de la CA, así como con los objetivos generales de la empresa [3], [4]. La CA, definida como un flujo continuo de productos, información y fondos entre las distintas etapas de origen hasta el destino final, por donde transitan los materiales, debe estar diseñada de tal manera que satisfaga los requerimientos de los clientes y maximice su rentabilidad [2], [5], [6].

Dentro de la gestión de proyectos, la creación de almacenes y su gestión en sí tienen su particularidad [7], ya que deben ir adecuándose al costo del proyecto según la cantidad de personal a atender [8] y, además, están supeditados al número de transacciones diarias y al espacio físico que dispongan en ese momento [9], es decir, iniciarán como un almacén con pocos recursos y escaso personal para luego ir adaptándose [2] a los avances constructivos con mayor personal y volumen de productos a administrar [10].

El diseño de la CA en un proyecto de construcción tiene características y cultura particulares propias del sector [11] y en el que se debe trabajar de manera conjunta, empezando por definir las necesidades de los clientes [12], todo ello con el objetivo de entregar el producto a tiempo [2], obtener buenos niveles de calidad, clientes satisfechos y satisfacción interna elevada [13]. La combinación de avances de proyectos, volumen de personal y herramientas ayudarán a transaccionar de mejor manera [5] y, en ese sentido, será de suma importancia imple-

mentar estrategias eficientes de gestión de recursos para optimizar en costos y ser más productivos [14].

En particular, la gestión de un almacén en un proyecto conlleva diversas restricciones significativas, siendo dos de ellas el manejo del considerable volumen de equipos de protección de personal (EPP) que se debe administrar y la cantidad de personas que deben ser atendidas diariamente [5]. Ambas restricciones están relacionadas con el avance del proyecto [15], es decir, al inicio de las operaciones se cuenta con poco personal, pero en la cúspide del proyecto se tendrá a la mayoría de los colaboradores en diferentes frentes de trabajo [16]. Por otro lado, si el sistema que se utiliza no agiliza las transacciones de registro, pueden surgir varios problemas, entre los cuales se incluyen datos de inventario incorrectos y no actualizados [7] y acumulación de documentos y políticas de atenciones o de solicitudes no realizadas en un mismo sistema [17].

Un punto importante en la gestión de los inventarios es el uso de alguna herramienta tecnológica que ayude a agilizar las operaciones a medida que el proyecto o el negocio vaya evolucionando [18], por lo que la aplicación de una Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC) sería una alternativa crucial [19]. Santos [20] define a las TIC como un grupo de tecnologías que se usan en el análisis, almacenamiento, difusión de información y promoción de la interoperabilidad, la eficiencia, reducción de costos y la interacción entre máquinas con la finalidad de optimizar el rendimiento de una empresa.

La evolución de las TIC en las organizaciones es cada vez más rápida [19] debido a las presiones que tienen por la inflación, el personal de baja cualificación y la variación en el comportamiento de la demanda [11], ya sea externa o interna. Además, los últimos acontecimientos de salud, como la pandemia de COVID-19 [21], que provocaron una redefinición de la cadena de suministro, están impulsando aún más este cambio. En consecuencia, la implementación de una TIC, específicamente una aplicación móvil (*app*), conlleva una serie de beneficios para el negocio, entre los cuales se encuentra la agilización de procesos internos, optimizando la gestión de recursos y reduciendo los tiempos en ejecución de tareas [22], lo que a su vez resulta en una disminución de los costos operativos.

En ese sentido, dado que la organización se ha propuesto como objetivo primordial la consolidación, retención

y gestión de datos para la toma de decisiones [5], tanto a nivel estratégico como operativo la implementación de una *app* facilitará el acceso y la recopilación de datos en tiempo real, lo que potenciará la eficiencia de las operaciones logísticas [23].

Así, con la finalidad de lograr una gestión más flexible y ágil en la empresa constructora, se buscó implementar una sinergia [8] entre el área de almacén y operaciones mediante una *app* que ayude a optimizar los tiempos de despachos, reducir las horas-hombre perdidas, retirar los EPP y reducir los costos asociados al almacenamiento de documentos [6].

II. METODOLOGÍA

Como parte de la metodología se plantearon tres fases: planificación estratégica, análisis de procesos y propuestas de mejora. Se utilizó información de los despachos diarios o transacciones realizadas en el sistema de almacenes [23] y se adicionó información respaldada por los tomadores de decisiones en la CA. La metodología fue diseñada tomando en cuenta las condiciones operativas del proyecto, asegurando su alineación con los objetivos de productividad y seguridad.

Fase 1 – Planificación estratégica: con la finalidad de proponer un plan hacia el objetivo principal, se plantearon tres procesos: el primero, mediante un análisis del macroambiente (político, social, cultural, económico y tecnológico) [24], del microambiente (cinco fuerzas: competencia, poder de proveedores, poder de compras, amenazas de nuevos participantes y las sustituciones) [25]; el segundo, mediante un análisis interno del negocio, la cadena de valor, las áreas funcionales y otros factores internos; y el tercero, basado en la ventaja competitiva con la que cuenta la empresa, desarrollando su estrategia competitiva, objetivos y propuesta de valor [26].

Fase 2 – Análisis de procesos: se analizaron las actividades relevantes de extremo a extremo siguiendo un modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro (SCOR) [27] del personal operativo que labora en un proyecto de construcción, tomando en cuenta los tiempos promedios del personal atendido (150 personas/día). Este análisis abarca desde la solicitud de aprobación de un cambio de EPP hasta su atención en el almacén, con un enfoque sistemático [28] para identificar, monitorear y mejorar el desempeño [23] del almacén.

Así, como se muestra en la [Figura 1](#), el análisis del problema y la evaluación de los resultados se basan en las tres fases del proceso. En primer lugar, el análisis de flujo identifica los pasos que lleva a cabo el personal desde que solicita el EPP hasta su entrega, así como los involucrados en cada etapa. Posteriormente, se realiza un análisis de los tiempos invertidos en cada paso, seguido por un análisis de inversión para la implementación de una *app* que esté alineada a la propuesta de mejora y para determinar la viabilidad del proyecto.



Figura 1. Fases de la identificación de problemas con base en tres variables: procesos, planificación estratégica y propuestas de mejoras.

Fase 3 – Propuesta de mejora: el resultado de esta investigación fue la mejora de la gestión sobre los inventarios en el área de almacenes de una empresa constructora, alineándose con la seguridad del personal, la optimización de costos y compartir información en línea entre las áreas y gestión de la CA. Mediante el análisis de las tres variables descritas se podrá tomar una decisión que ayude a la empresa a ser más eficiente, productiva y rentable.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se describen los datos y resultados obtenidos de acuerdo con el método aplicado, con base en las tres variables propuestas.

ANÁLISIS DE FLUJO

El primer punto es conocer las actividades que están involucradas entre producción (usuarios o clientes internos) y el almacén, como se puede ver en la [Figura 2](#), donde muestran los pasos efectuados para solicitar un EPP: inicia con la elaboración del vale (documento papel que usan para solicitar materiales al almacén),

se escriben a mano sobre el documento, por lo que no se tiene idea del código del material a utilizar, cuánto habrá en el inventario y menos si la descripción de lo que requieren coincide con lo existente en el sistema del almacén. Luego de la elaboración del vale, se hace una búsqueda de su supervisión o jefe para la aprobación correspondiente. Como tercer paso, hay que ir al almacén y esperan a ser atendidos (la distancia hacia este podría variar según la actividad que estén realizando).

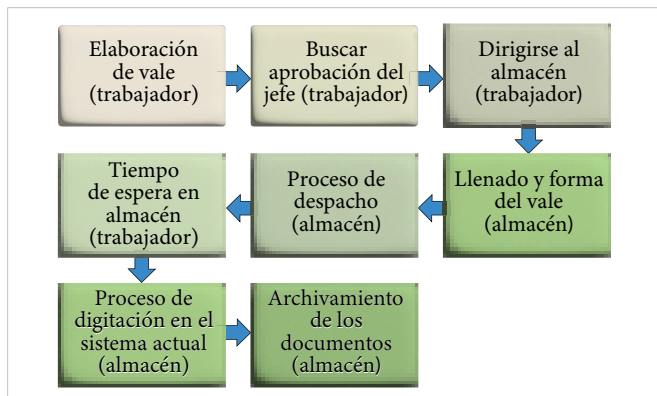


Figura 2. Flujo del proceso de requerimiento y retiro de los implementos de seguridad por parte del trabajador y despachos realizados por el almacén.

La atención al personal solo inicia cuando este se presenta en el almacén, donde se entregará el vale llenado y firmado (autorizado) y en caso contrario no será atendido. Enseguida, el despachador procede con la búsqueda del EPP, se llenan los datos faltantes con información del material, por ejemplo, códigos, descripción, ubicación y unidad de medida.

Al finalizar el despacho, el vale manual es entregado al asistente, quien tiene acceso al sistema del almacén para proceder con el registro del documento y así actualizar el inventario. En caso el código u otro dato del material no coincide con lo que tiene el sistema, se procedería a realizar la búsqueda y verificación física. Al terminar el proceso de digitación, el documento deber ser almacenado como archivo documentario para posteriormente enviarlo a una empresa que da el servicio de custodia (aproximadamente 8 años de almacenamiento).

ANÁLISIS DE TOMA DE TIEMPOS

Con la información obtenida en el desarrollo del análisis de flujo, se registraron los tiempos correspondientes a cada actividad, detallados en la [Tabla 1](#). Al usuario le puede tomar 26 minutos desde que obtiene una aproba-

ción y espera en el almacén para ser atendido, mientras que al personal del almacén le toma 8.5 minutos para atender a cada usuario, dándonos un tiempo total por cada uno de 34.5 minutos (este tiempo puede variar en caso el aprobador del documento no se encuentre cerca de las operaciones y de la distancia que deben recorrer hacia el almacén).

Cabe resaltar que si bien los tiempos de desplazamiento al almacén y de espera en despacho son los mismos en promedio, en este caso se le da prioridad al tiempo de espera por su impacto directo en la eficiencia global del proceso y porque representa una etapa crítica en la fluidez del proceso. Al reducir este tiempo, se optimiza la velocidad y se minimizan las posibles demoras. Por otro lado, aunque reducir el tiempo de desplazamiento al almacén podría ser beneficioso, su implementación presenta desafíos logísticos debido a la complejidad y los costos asociados con la reubicación de la infraestructura física.

TABLA 1
TOMA DE TIEMPOS POR ACTIVIDAD

PROCESO	LEAD TIME (MIN)	REALIZADO POR:
Elaboración del vale	1	Personal
Buscar aprobación del jefe de área	5	Personal
Dirigirse al almacén	10	Personal
Tiempo de espera en despacho	10	Personal
Tiempo de personal p/atención	26	
Proceso de despacho	5	Almacén
Llenado y firma del vale	1	Almacén
Proceso de digitación en sistema ERP	2	Almacén
Archivamiento	0.5	Almacén
Tiempo de almacén p/atención	8.5	
Tiempo total (min) por persona	34.5	

Para conocer el costo total por mes en que incurre el personal del proyecto por el proceso de retiro de EPP, se inicia midiendo cuál es el costo del usuario de producción. Como se aprecia en la [Tabla 2](#), se tiene un costo de 10.5 USD por hora de trabajo (incluido el pago de beneficios sociales) obteniendo así la cantidad por minuto de 0.175 USD. Se estima que el tiempo que el usuario dedica es de 26 minutos, como se registra en la [Tabla 1](#). Además, en promedio, se atiende a 150 personas por día (aunque este número puede variar según la fase del proyecto y, en algunos casos, duplicarse). Esto se traduce en un total de 682.50 USD/día y de 20 475 USD/mes.

TABLA 2
CÁLCULO DEL COSTO MES DEL USUARIO

CONCEPTO	CANTIDAD
Costo hora personal	10.5 USD/hora (0.175 USD/min)
Cantidad promedio de personal atendido por día	150 personas
Tiempo de personal p/atención	26 minutos
Costo total / día	682.50 USD/min
Costo total / mes	20 475 USD/mes

ANÁLISIS DE INVERSIÓN

Con la finalidad de mejorar los tiempos de atención de personal en la entrega de los EPP, se optó por implementar una *app* (previo análisis de causa-efecto que determina la causa raíz de los problemas) con una inversión inicial de 11 960 USD. Los requerimientos funcionales de la aplicación son el registro y gestión de personal, el mantenimiento de un inventario actualizado de los EPP disponibles y mantener un historial detallado de todas las transacciones de entrega. Estos requerimientos deberán ser comunicados al programador encargado de crear la aplicación para garantizar su correcta incorporación y funcionamiento dentro del desarrollo del software. (El diseño de la *app* está fuera del alcance de este artículo).

En la [Tabla 3](#) se resume los montos obtenidos luego de plantear un proyecto de inversión con recursos propios.

TABLA 3
PROYECTO DE INVERSIÓN (COSTOS TOTALES POR AÑO)

COSTO DEL PROYECTO	USD/AÑO
Implementación de una <i>app</i> (incluye fase de diseño y arquitectura del programa, horas-hombre de elaboración)	5800
Licencia anual de la <i>app</i>	360
Programador (pago único)	1500
Tabletas electrónicas (2 unidades)	1900
Mejoras de dispositivos de señal	1200
Gastos administrativos	1200
Total	11 960

ANÁLISIS CAUSA-EFECTO

Para que la gestión en el control de inventarios sea exitosa, es necesario evaluar qué causas básicas impactan sobre los procesos del almacén y para ello se utilizó la

herramienta de diagrama de Ishikawa. Se analizó los factores de influencia más relevantes agrupados por categorías (Método, Materiales, Mano de Obra, Medio ambiente y Máquina) para luego ir a más detalle [29]. En la [Figura 3](#) se aprecia un análisis de causas básicas que están impactando en los tiempos de atención hacia el personal de producción.

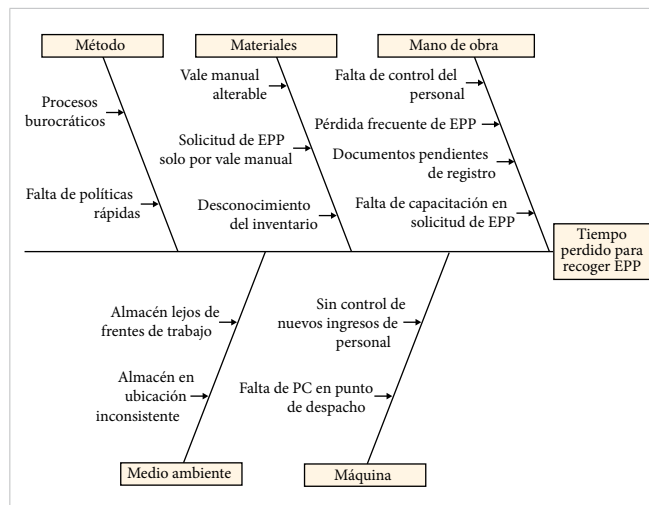


Figura 3. Diagrama causa-efecto que analiza el problema principal del tiempo perdido del personal.

Con base en la evaluación del problema, se procedió a listar las causas, se les asignó una ponderación y se ordenaron de mayor a menor con la finalidad de priorizar las acciones de mejoras. Como resultado, se obtuvo una lista de prioridades según las causas básicas que impactan a la gestión del almacén [30], como se puede apreciar en la [Figura 4](#).

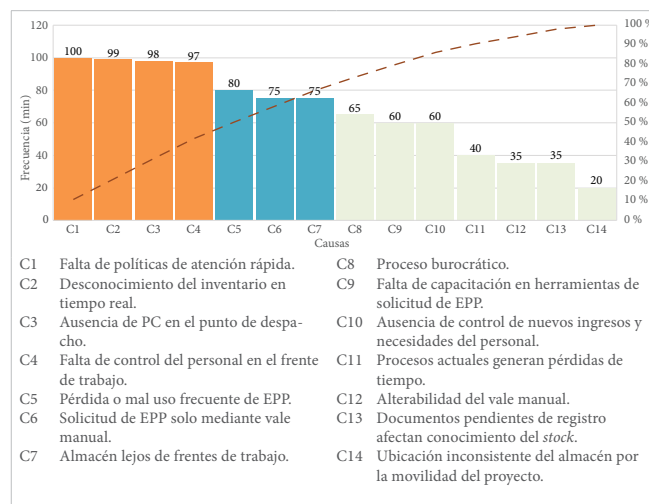


Figura 4. Diagrama de Pareto que analiza el problema principal del tiempo perdido del personal.

A partir del Diagrama de Pareto, se identificaron las cuatro causas más importantes:

- No existe una política ágil para atenciones rápidas del almacén.
- Se desconoce el inventario disponible al momento de crear los vales manuales.
- El almacén no cuenta con un dispositivo en el área de despachos.

- No se cuenta con un control sobre el personal operativo, por lo que las horas-hombre perdidas se pueden incrementar.

Luego de identificar las causas principales, se propusieron medidas para mitigar su impacto. Como se ve en la [Tabla 4](#), por cada causa se han desarrollado propuestas específicas y se ha evaluado su impacto, con el objetivo de no afectar las demás operaciones del proyecto.

TABLA 4
CONTRAMEDIDAS SEGÚN CAUSA-RAÍZ

ÁMBITO	CAUSA-RAÍZ	PROPUESTAS	IMPACTO
Método	No existe política para atender más rápido.	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer una política de despachos directos por parte del almacén sin pasar por una aprobación. - Atender el EPP dañado (contra entrega), caso contrario el personal buscará la aprobación de su jefe inmediato y dará el sustento correspondiente. 	Reducir las horas-hombres perdidas del personal.
Materiales	El inventario solo puede conocerse cuando se está físicamente presente en el almacén.	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar una <i>app</i> que ayude a visualizar el <i>stock</i> que tiene el almacén en tiempo real. - Registrar al personal (por única vez) en la <i>app</i>. - Despachar mediante tabletas electrónicas para mejorar la movilidad del personal de despacho. - Disponer del inventario realmente necesario y evitar pérdidas con los nuevos controles. 	Mejorar el control del personal y de los inventarios manteniendo una data actualizada en todo momento.
Máquina	No existe una PC en el punto de despacho	<ul style="list-style-type: none"> - Adquirir nuevas tabletas electrónicas que tengan instalada la <i>app</i>. - Diseñar la <i>app</i> entre logística y el área de construcción. 	Reducir costos en los recursos del almacén.
Mano de obra	El personal no tiene un control desde que sale de su frente de trabajo, por lo que indica que no lo atienden.	<ul style="list-style-type: none"> - Controlar quienes son los trabajadores que más retiran EPP del almacén. - Controlar las horas en la que se presenta el personal para retirar sus EPP e informar a sus jefes inmediatos. 	Reducir las colas (filas).

BALANCEO DE MEJORAS

Al identificar las causas y el impacto que estas conllevan, se debe poner en práctica las propuestas, iniciando por el cambio en las políticas de atención que implica el uso de una *app*. Se decidió emplear esta tecnología en específico con base en los criterios siguientes:

- *funcionalidad*, que incluye la capacidad del sistema para gestionar el inventario y mantener un historial detallado de transacciones;
- *costo*, considerando la inversión y los beneficios esperados;
- *facilidad de integración*, evaluando la compatibilidad del software con los sistemas ERP existentes en la organización, y

- *usabilidad*, asegurando la facilidad de uso para el personal de almacén como para los empleados.

Así, se plantea que el área de almacén atienda de manera directa al personal los EPP sin la autorización de la supervisión o jefatura, eliminando la necesidad de elaborar vales manuales, ya que estos serían procesados directamente en la *app* por el personal de almacén

Este cambio reduce a cero los tiempos de elaboración del vale y búsqueda de aprobación. Como se puede apreciar en la [Tabla 5](#), la elaboración del vale y el tiempo de búsqueda de aprobación tendrían valor cero y se estima una reducción del tiempo de espera en despachos del 50 %, dando una reducción de 26 min a 15 min por personal operativo.

TABLA 5
TOMA DE TIEMPOS POR ACTIVIDAD MEJORADA

PROCESO	LEAD TIME (MIN)	REALIZADO POR:
Elaboración del vale	0	Personal
Buscar aprobación del jefe de área	0	Personal
Dirigirse al almacén	10	Personal
Tiempo de espera en despacho	5	Personal
Tiempo de personal p/atención	15	
Proceso de despacho	5	Almacén
Llenado y firma del vale	0	Almacén
Proceso de digitación en sistema ERP	0	Almacén
Archivamiento	0.5	Almacén
Tiempo de almacén p/atención	5.5	
Tiempo total (min) por persona	20.5	

Los procesos de llenado y aprobación de los vales antes del momento de la atención y el proceso de digitación en el sistema tendrían un valor de cero, ya que se están asumiendo en el proceso de despacho efectuado por el almacén usando la *app*.

Manteniendo el mismo promedio del personal atendido (150 personas/día) por el nuevo tiempo obtenido en la mejora de 15 minutos y el costo que corresponde por jornal (incluidos beneficios sociales), se obtiene un monto de 11 812 USD, es decir, un ahorro del 42.30 %, con lo cual la inversión inicial en la *app* se podría recuperar en menos de dos meses.

Esta mejora debe ir acompañada de un cambio en la política de despachos, donde la gerencia del proyecto acepte que el almacén solo atienda los EPP contra entrega, es decir, con el EPP usado y, para los casos que no lo tenga, debería seguir su proceso normal de autorización y atención con la finalidad de no despachar por duplicado a la misma persona.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de una Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC), específicamente una *app*, en conjunto con un cambio en la política de despachos de los EPP, ha logrado mejorar la eficiencia y agilidad en el proceso de atención al personal. Gracias a la propuesta de mejora, se ha logrado reducir significativamente el tiempo de despacho a 11 minutos por persona, generando un ahorro mensual de 8663 USD.

Además de los beneficios económicos, esta mejora también tiene un impacto positivo en la productividad del personal al permitirles dedicar más tiempo a las operaciones principales en lugar de invertir recursos valiosos, como el tiempo, en procesos previos. La introducción de una aplicación móvil dedicada a la gestión de las atenciones diarias permite al personal de almacén centrarse en el control y la planificación de los EPP sin preocuparse por posibles faltantes de inventario.

Asimismo, la implementación de esta TIC ofrece información primordial para la planificación de adquisiciones por parte del área de compras, al ofrecer un control detallado del consumo de EPP según la especialidad y el frente de trabajo correspondiente. En suma, esta estrategia no solo optimiza un proceso en concreto, sino que también favorece la gestión de los recursos del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] A. Prado, “El contrato general de construcción, y en especial la modalidad EPC y sus principales características”, *Revista Chilena de Derecho*, vol. 41, n.º 2, pp. 765-783, 2014.
- [2] R. Perez-Franco, *Rethinking your supply chain strategy: a brief guide*. Cambridge, Massachusetts: MIT Center for Transportation and Logistics, 2016.
- [3] G. Maraví, D. Matuk y M. Chong, “Impacto de la infraestructura en las operaciones logísticas, gestión de carga y entrega de mercancías”, *Memoria Investig. Ing.*, n.º 17, pp. 31-46, 2019, doi: [10.36561/ING.17.3](https://doi.org/10.36561/ING.17.3).
- [4] A. Osterwalder y Y. Pigneur, *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, Nueva Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [5] R. H. Ballou, *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*, 5.ª ed. México: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [6] S. Chopra y P. Meindl, *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, Planeación y Operación*, 5.ª ed. México: Pearson, 2013.
- [7] L. Medina, B. Raaijen, M. Peña, A. Luna, y M. Chong, “Inventory management optimization of a container glass products manufacturer”, en *Algorithms and Computational Techniques Applied to Industry*, J. L.

- García y A. Realyváquez, eds., 1.ª ed. Berlín: Springer, 2022, pp. 329-340.
- [8] S. J. Ortiz y A. M. Paredes-Rodríguez, “Evaluación sistémica de la implementación de un sistema de gestión de almacenes (WMS)”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, n.º 4, pp. 145-160, 2021, doi: [10.18273/revuin.v20n4-2021012](https://doi.org/10.18273/revuin.v20n4-2021012).
- [9] J. G. Arrieta, “Aspects to consider for high quality administration of corporate distribution centers (Centros de Distribución, CEDIS)”, *JEFAS*, vol. 16, n.º 30, pp. 83-96, 2011.
- [10] C. Lopez, F. Jäeger, K. Ramirez, y M. Chong, “A plan to improve recycled raw material supply in a production company of RPET”, en *Handbook of Research on Industrial Applications for Improved Supply Chain Performance*, J. L. García-Alcaraz, G. Leal, L. Avelar-Sosa y A. J. Briones, eds. IGI Global, 2020 pp. 27-45.
- [11] D. Mena, “Organizational culture, general elements, mediations and impact on the integral development of institutions”, *Pensam. Gest.*, n.º 46, pp. 11-47, 2019, doi: [10.14482/pege.46.1203](https://doi.org/10.14482/pege.46.1203).
- [12] D. J. M. van der Veeke y W. G. M. M. Rutten, “Logistics Service Management: Opportunities for Differentiation”, *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 9, n.º 2, pp. 91-98, 1998, doi: [10.1108/09574099810805861](https://doi.org/10.1108/09574099810805861).
- [13] J. Capó-Vicedo, J. V Tomás-Miquel y M. Expósito-Langa, “La Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro. Análisis de la Influencia del Contexto Organizativo”, *Inf. Tecnol.*, vol. 18, n.º 1, pp. 127-136, 2007.
- [14] M. Chong, E. Perez, J. Castilla y H. Rosario, “Blockchain technology applied to the cocoa export supply chain: A Latin-America case”, en *Handbook of Research on Emerging Technologies for Effective Project Management*, G. Leal, F. Ribeiro, A. Malheiro da Silva y S. Maravilhas, eds. IGI Global, 2020 pp. 323-339.
- [15] L. E. Paredes-Peñañiel, A. V. Paredes-Peralta, D. F. Mayorga-Pérez, C. R. Cepeda-Godoy, y M. I. Quinga-Morales, “Diseño e implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SST), de FEANCONSTRUC, de la ciudad de Macas, para minimizar la incidencia de accidentes en el trabajo”, *Polo del Conoc.*, vol. 3, n.º 7, pp. 390-419, 2018.
- [16] R. Carro y D. González, *El sistema de producción y operaciones*. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2012.
- [17] F. Cerna, C. Gómez, N. Sánchez, A. Luna, y M. Chong, “Model design of material requirement planning (MRP) applied to a surgical sutures company”, en *Techniques, Tools and Methodologies Applied to Quality Assurance in Manufacturing*, J. L. García-Alcaraz, C. Sánchez-Ramírez y A. J. Gil-López, eds. Springer, 2021 pp. 269-280.
- [18] J. M. Berenguer y J. A. Ramos-Yzquierdo, *Negocios digitales: competir usando tecnologías de información*. EUNSA Ediciones Universidad de Navarra, 2003.
- [19] G. Suárez, “La Evolución de las TIC”, *Revista Docentes 2.0*, vol. 1, n.º 1, pp. 15-16, 2013, doi: [10.37843/rted.v1i1.39](https://doi.org/10.37843/rted.v1i1.39).
- [20] J. M. Santos, “Las TIC como motor impulsor de la RSC para aumentar el rendimiento empresarial”, *La Razón Histórica*, n.º 49, pp. 25-34, 2020.
- [21] R. Quiliche, R. Rentería-Ramos, I. de Brito Junior, A. Luna y M. Chong, “Using spatial patterns of COVID-19 to build a framework for economic reactivation”, *Sustainability*, vol. 13, n.º 18, art. 10092, 2021, doi: [10.3390/su131810092](https://doi.org/10.3390/su131810092).
- [22] L. Y. Becerra, “Tecnologías de la información y las comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: tendencias tecnológicas y desafíos en la educación en ingeniería”, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, n.º 28, pp. 76-81, 2020, doi: [10.31908/19098367.2057](https://doi.org/10.31908/19098367.2057).
- [23] A. R. Ravindran, D. P. Warsing Jr. y P. M. Griffin, *Supply Chain Engineering: Models and Applications*. Boca Ratón, Florida: CRC Press, 2023.
- [24] K. E. Weinberger, “Relaciones entre factores y actores del ecosistema de emprendimiento de Lima: un estudio exploratorio, tesis de doctorado, Consorcio de Universidades, Lima, Perú, 2023.
- [25] M. E. Porter, *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Nueva York: Free Press, 1980.

- [26] F. R. David, *Administración Estratégica*, 14.ª ed. México: Pearson, 2013.
- [27] P. Bolstorff y R. Rosenbaum, *Supply Chain Excellence: A Handbook for Dramatic Improvement Using the SCOR Model*. AMACOM Books, 2003.
- [28] R. Renteria, M. Chong, I. de Brito Junior, A. Luna y R. Quiliche, “An entropy-based approach for disaster risk assessment and humanitarian logistics operations planning in Colombia”, *J. Humanit. Logist. Supply Chain Manag.*, vol. 11, n.º 3, pp. 428-456, 2021.
- [29] C. Botezatu, I. Condrea, B. Oroian, A. Hrițuc, M. Ețcu y L. Slătineanu, “Use of the Ishikawa diagram in the investigation of some industrial processes”, en *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 682, art. 012012, 2019, doi: [10.1088/1757-899X/682/1/012012](https://doi.org/10.1088/1757-899X/682/1/012012).
- [30] K. R. Ponciano, J. R. Sena, L. S. Pereira, y S. Moreira, “Aplicação do diagrama de Pareto e a metodologia TPM como forma de melhoria do processo produtivo e redução downtime”, *S. Am. Dev. Soc. J.*, vol. 7, n.º 21, 2021, doi: [10.24325/issn.2446-5763.v7i21p173-189](https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v7i21p173-189).

Diagnóstico de salud ocupacional y legislación aplicable de planta TIF en empresa del sector alimentario

Occupational health diagnosis and applicable legislation of TIF plant in a food sector company

Yuridia Belén Cota Pardini^{1a} ✉ , Silvia Miriam Urías Camacho^{1a} , Marcos Octavio Osuna Armenta^{1b} ,
Leiry Alexandra Olivas Román^{1a} , Mariana Guadalupe Parra Moreno^{1a} 

^{1a}{Ingeniería Industrial, ^{1b}Ingeniería en Gestión empresarial}, División de Ciencias Industriales, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave, Guasave, Sinaloa, México

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en una empresa sinaloense dedicada a la elaboración de productos cárnicos derivados del puerco, que actualmente cuenta con la certificación Tipo Inspección Federal (TIF) en una de sus plantas, lo que avala los estándares de calidad e inocuidad en la producción de carne por parte de personal autorizado y capacitado. Sin embargo, recientemente la organización ha mostrado la necesidad de realizar un rediseño en la planta TIF, lo que generó la exigencia de actualizar todos los procesos e infraestructura para cumplir con los requerimientos normativos en materia de seguridad y salud ocupacional. Por lo tanto, este estudio se propuso determinar los factores de riesgos físicos y proponer acciones correctivas que los disminuyan. Para ello, se desarrolló la metodología AMFE-FINE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), la cual facilita la identificación y prevención de modos de fallo de un producto o servicio. Se procedió a identificar cada evento adverso y su propuesta de acción correctiva para estudiarlos en una matriz de riesgo, considerando la probabilidad de ocurrencia, consecuencia y exposición y determinar el nivel de riesgo: alto, bajo o medio. Al identificar los eventos más riesgosos con su correspondiente acción correctiva o de mejora, se procedió a capacitar al personal y adecuar las instalaciones con el objetivo de aumentar la productividad y seguridad de los trabajadores.

PALABRAS CLAVE: seguridad; riesgos; accidentes; normas; acciones correctivas.

ABSTRACT

The present research was developed in a Sinaloan company dedicated to the production of meat products derived from pork, which currently has Federal Inspection Type (TIF) certification in one of its plants, which endorses the quality and safety standards in production of meat by authorized and trained personnel. However, recently the organization has shown the need to carry out a redesign in the TIF plant, which generated the requirement to update all processes and infrastructure to comply with regulatory requirements regarding occupational health and safety. Therefore, this study aimed to determine the physical risk factors and propose corrective actions to reduce them. To this end, the FMEA-FINE (Failure and Effects Modal Analysis) methodology was developed, which facilitates the identification and prevention of failure modes of a product or service. Each adverse event and its corrective action proposal were identified to study them in a risk matrix, considering the probability of occurrence, consequence and exposure, and determining the risk level: high, low or medium. By identifying the riskiest events with their corresponding corrective or improvement action, we proceeded to train the staff and adapt the facilities with the aim of increasing the productivity and safety of the workers.

KEYWORDS: security; risks; accidents; rules; corrective actions.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Yuridia Belén Cota Pardini
INSTITUCIÓN: Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave / División de Ciencias Industriales
DIRECCIÓN: Carretera Internacional Entronque a Brecha, Ejido El Burriocito, C. P. 81149, Guasave, Sinaloa
CORREO ELECTRÓNICO: yuridia.cp@guasave.tecnm.mx

Fecha de recepción: 29 de noviembre de 2023. **Fecha de aceptación:** 15 de junio de 2024. **Fecha de publicación:** 9 de agosto de 2024.



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas están cambiando constantemente sus necesidades, pero hay algo que siempre permanece como una prioridad: los problemas de salud relacionados con el trabajo, los cuales deberían ser relativamente fáciles de predecir, debido a que la misma empresa es consciente de las condiciones de trabajo que los originan.

La seguridad en el trabajo es el conjunto de medidas técnicas, educativas y psicológicas empleadas para prevenir accidentes, eliminar las condiciones inseguras del ambiente y para instruir o convencer a las personas acerca de la necesidad de implementar prácticas preventivas ^[1].

El hecho de implementar estrategias enfocadas a la gestión de la salud y seguridad ocupacional permite a las empresas controlar los riesgos que puedan presentarse, tener mayor productividad y calidad en sus productos. De esta manera, la ergonomía desempeña un papel fundamental en la salud ocupacional al enfocarse en la adecuación de los espacios laborales para promover el bienestar del trabajador, lo que repercute positivamente en su salud y en el desempeño de sus funciones. Por lo que, con base a las necesidades de la empresa y las exigencias en materia de seguridad se procedió a realizar las evaluaciones pertinentes apoyándose en el marco legal aplicable con el objetivo de disminuir y prevenir el número de incidentes en la planta TIF de la empresa.

De manera similar, la empresa de confección Master Unlimited realizó una investigación por falta de seguridad industrial, salud ocupacional y ergonomía en los empleados, ya que influía negativamente en el desempeño de la productividad y calidad de los productos, puesto que no existía una buena distribución de las áreas en las cuales los empleados podrían tener accidentes, caídas, quemaduras, etc. También se encontraban con maquinaria en mal estado. Se llevó a cabo un control de las condiciones y acciones inseguras y se identificaron riesgos para evitar lesiones e incidentes utilizando una matriz de identificación de riesgos para facilitar la identificación y adaptación de las mejoras ergonómicas propuestas. Esta iniciativa tuvo el objetivo de aumentar la productividad y mejorar la calidad de vida laboral a los trabajadores ^[2].

La presente investigación aborda la situación de la planta TIF de Sinaloa, México, mediante el análisis de las

instalaciones se identificaron los factores de riesgo que se pueden presentar y causar incidentes y/o accidentes con los trabajadores, el cumplimiento de las normas STPS (Secretaría de Trabajo y Previsión Social) y sus requisitos para poder aplicarse.

II. METODOLOGÍA

El análisis de las condiciones de seguridad e higiene de las actividades, a través de la metodología AMFE-FINE en la planta TIF de la empresa, se limita a las necesarias para el proceso de producción, como lo son el área de envasado, de empaquetado, el cuarto atemperado y el área de distribución para la generación de propuestas de acciones que permitan la prevención de riesgos laborales.

La metodología AMFE es utilizada como herramienta para disminuir el riesgo y el tiempo de implementación de las estrategias preventivas y, a su vez, el método FINE, creado por el matemático William T. Fine, consiste en la determinación del nivel estimado de riesgo potencial a partir de la multiplicación de hasta tres factores: consecuencia, exposición y probabilidad. Cada factor tiene un valor dependiendo de las características del puesto, los sistemas de seguridad instalados, los equipos de protección utilizados, etc. ^[3].

Para diseñar la matriz de riesgos dentro de la planta TIF fue necesario realizar un recorrido por sus instalaciones. En la [Figura 1](#) se identifica la distribución de la planta y el flujo de proceso de los productos principales.

En la [Tabla 1](#) se observan las áreas de la planta TIF donde fueron identificados los riesgos de trabajo, las fuentes de peligro, y se proponen acciones correctivas y/o preventivas para cada uno de ellos. Además, se destacó la norma aplicable para cada caso, como la NOM-006-STPS-2014 ^[4] de seguridad en el manejo y almacenamiento de materiales, que señala que para el almacenamiento de materiales es necesario un procedimiento de seguridad que considere, entre otras cosas, una forma segura de llevar a cabo la estiba y desestiba, la técnica empleada para apilar y retirar los materiales de contenedores, estantes y plataformas, avisos sobre la capacidad máxima de carga, número máximo de productos, altura máxima de las estibas, etc.; la NOM-001-STPS-2008 ^[5] de la seguridad de edificios, locales e instalaciones, que señala que los pisos del centro de trabajo deben mantenerse de tal manera que los posibles estancamientos de líquidos no generen riesgos de

caídas o resbalones; y también la NOM-036-STPS-2018 [6] de salud, en los factores de riesgos ergonómicos, que establece como obligación del patrón efectuar la vigi-

lancia a la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos, para poder verificar el cumplimiento de las mismas.

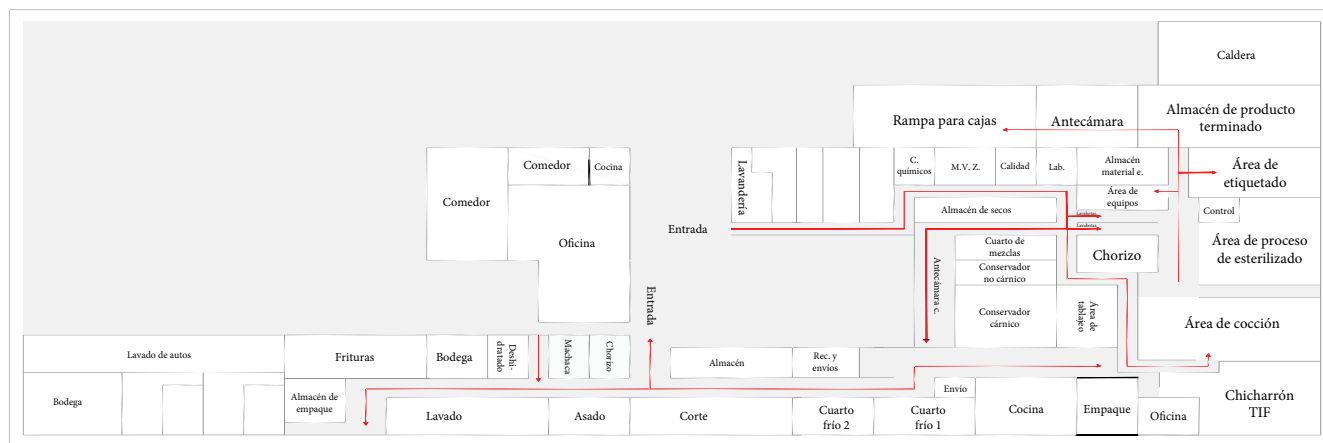


Figura 1. Plano del sitio de estudio con las áreas principales (no está a escala).

TABLA 1
RIESGOS IDENTIFICADOS EN LA PLANTA TIF

ÁREA	RIESGO	FUENTE DE PELIGRO	ACTO O CONDICIÓN	ACCIÓN CORRECTIVA	ACCIÓN PREVENTIVA	DISMINUYE O ELIMINA	NORMA APLICABLE
Estante de almacén	Caída de estante	Estante en su máxima capacidad en el almacén de material de empaque	Acto	Realizar un acomodo del material de manera más estratégica	No poner al límite de su capacidad los estantes	Elimina	NOM-006-STPS-2014
Área de envasado	Caídas	Piso constantemente mojado en el área de envasado	Combinación de ambos	Cambiar el método utilizado para realizar sus actividades	Tomar precauciones para secar el piso cada cierto tiempo	Disminuye	NOM-001-STPS-2008
Cuarto de atemperado	Riesgo a la salud física del trabajador	Puerta de cuarto de atemperado no cierra correctamente	Condición	Reparar la puerta para que el empleado no haga un esfuerzo extra al cerrarla	Cuidar las condiciones de esa área para que no se desgasten más de lo necesario	Elimina	NOM-036-STPS-2018
Almacén	Productos secos estropeados	La disposición de los productos en el almacén de secos no es adecuada	Acto	Mantener los productos alejados de la pared y los envoltorios cerrados	Cuidar la temperatura y limpieza de área	Elimina	NOM-006-STPS-2014

Se realizó el análisis y evaluación de riesgos del proceso productivo en la planta TIF de la empresa, el cual consiste en el procesamiento de los productos que serán exportados. Una vez identificados los riesgos, se compilaron en la [Tabla 2](#), incluyendo el evento adverso; las causas, las cuales se pueden generar por condiciones o actos inseguros; la ponderación de su probabilidad e impacto fue basada en la matriz de riesgo, en la cual se definió qué tan probable es que suceda y qué tan fuerte sería su impacto en caso de suceder y, finalmente, la evaluación se obtuvo mediante la multiplicación de esas

dos variables. Para el llenado de la matriz se observaron las actividades realizadas dentro de cada una de las áreas enlistadas. En general, el área de almacén tiene deterioro en la infraestructura física y la falta de piso antiderrapante lo convierte en una fuente de peligro latente, ya que los operarios no tienen hábitos y métodos de trabajo que mejoren las condiciones. Por otra parte, en el área de envasado tampoco hay medidas preventivas y los utensilios y herramientas manuales no cuentan con el mantenimiento y uso adecuado.

Los criterios o valores utilizados para la evaluación numérica en la [Tabla 2](#) son los que se enlistan a continuación con base a las necesidades de las operaciones realizadas dentro de la empresa.

Probabilidad u ocurrencia:

- Remota probabilidad de que se produzca un daño, 1.
- Poca probabilidad de que se produzca un daño, 2.
- Moderada probabilidad de que se produzca un daño, 3.
- Alta probabilidad de que se produzca un daño (una de cada dos veces), 4.

- Muy alta probabilidad de que se produzca un daño, 5.

Gravedad o impacto:

- Incidente, no causa lesiones en personas ni daño en el proceso, 1.
- Daños menores, 2.
- Daños que provocan la baja en el trabajador por incapacidad temporal, 3.
- Lesiones graves o incapacidades permanentes, 4.
- Muerte, varias muertes, 5.

TABLA 2
ANÁLISIS DE EVALUACIÓN Y RIESGOS DE PLANTAS TIF

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO						ANÁLISIS		EVALUACIÓN
NÚM.	P/SP/A/T*	DESCRIPCIÓN	EVENTO ADVERSO	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD	IMPACTO	
1	Proceso productivo planta TIF	Uso de almacén de material de empaque	Caída del estante	El estante se mantiene a su máxima capacidad	Pérdida/daño de producto	3	2	6
2		Actividades productivas en área de envasado	Caídas	El piso se mantiene constantemente mojado dada las actividades	Gastos médicos – Pérdida de producto	2	4	8
3		Uso de cuarto de atemperado para preparar los productos cárnicos para su posterior uso	Riesgo a salud física	La puerta del cuarto de atemperado tiene que cerrarse forzadamente por falta de reparación	Gastos médicos – Retrasos en proceso productivo	4	3	12
4		Manipulación de productos en almacén de secos	Productos secos estropeados	La distribución que se le da a los productos necesita optimizarse	Pérdida de producto	2	3	6

*Nota: P: Producción, SP: Salida de Producto, A: Almacén, T: Tablajeo.

En la [Tabla 3](#) se identifican los riesgos de trabajo en la planta TIF, se expone el análisis y la evaluación que se había hecho previamente, el tratamiento propuesto para cada evento, la decisión de eliminar o disminuir el

evento y, asimismo, se proponen las acciones correctivas y/o preventivas más apropiadas para cumplir con el indicador y así reducir el impacto de cada riesgo.

TABLA 3
MATRIZ DE RIESGO DE LA PLANTA TIF

IDENTIFICACIÓN		ANÁLISIS		EVALUACIÓN	TRATAMIENTO		
NÚM.	EVENTO ADVERSO	P	I		DECISIÓN	ACCIONES	INDICADORES
R1	Caída del estante	3	2	6	Eliminar	No poner exceso de carga en los estantes y mobiliario del almacén	Elimina
R2	Caídas	2	4	8	Disminuir	Mejorar el sistema de drenaje que ya está instalado	Disminuye
R3	Riesgo a salud física	4	3	12	Eliminar	Reparar la puerta y mantener en óptimas condiciones el mobiliario	Elimina
R4	Productos secos estropeados	2	3	6	Eliminar	Correcta distribución de los productos en la habitación.	Elimina

La **Figura 2** muestra la simbología de la matriz de riesgos de la planta TIF, en la cual se identifica la escala y el cruce que existe entre la probabilidad de ocurrencia y el impacto de cada uno de los riesgos.

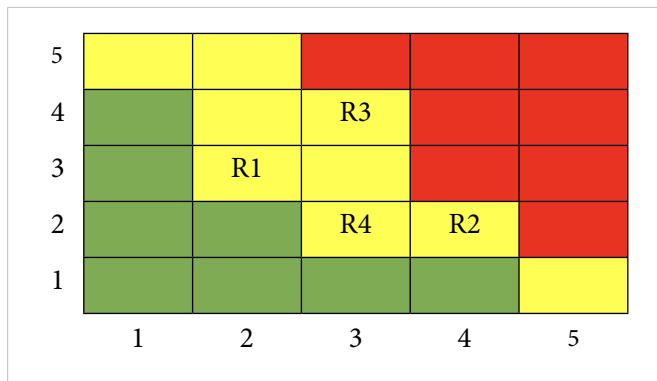


Figura 2. Simbología de matriz de riesgo de planta TIF.

Finalmente, la **Tabla 4** muestra la representación visual de la matriz de riesgos de la planta TIF, en la cual se define el nivel de riesgo con base en la intersección de la probabilidad de ocurrencia y el impacto en la seguridad de los trabajadores, dependiendo el color de la siguiente categorización: nivel de riesgo bajo, color verde; nivel de riesgo moderado, color amarillo, y nivel de riesgo alto, color rojo.

TABLA 4
REPRESENTACIÓN VISUAL DE LA MATRIZ DE RIESGO DE PLANTA TIF

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
Verde	Riesgo bajo	No generan daños muy grandes a las instalaciones o personal.
Amarillo	Riesgo moderado	Pueden producir pérdidas a la empresa, pero son remediables.
Rojo	Riesgo alto	Generan grandes pérdidas, se recomienda elaborar un plan de contingencia para prevenir sus resultados.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar la empresa y su cumplimiento con los requisitos de cada una de las normas aplicables en la seguridad y salud sobre los riesgos detectados, se pudo identificar que las normas de mayor importancia se incumplen en más del 50 %, por lo cual es importante que la empresa implemente las acciones correctivas sugeridas urgente-

mente en las áreas de oportunidad detectadas con mayor riesgo, como lo son las caídas, corrigiéndolas con actividades de limpieza al final de cada proceso, y la posición de productos que se estropean en la distribución, aplicando un sistema ordenado que mejore el acomodo del almacén para salvaguardar la integridad física de los trabajadores y se actualice la infraestructura de la empresa para proteger el proceso y el producto de las secuelas por accidentes e incidentes.

CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS APLICABLES

La **Figura 3** muestra el grado de cumplimiento de las NOM aplicables a la planta TIF con base a los requisitos aplicables en cada una de ellas.

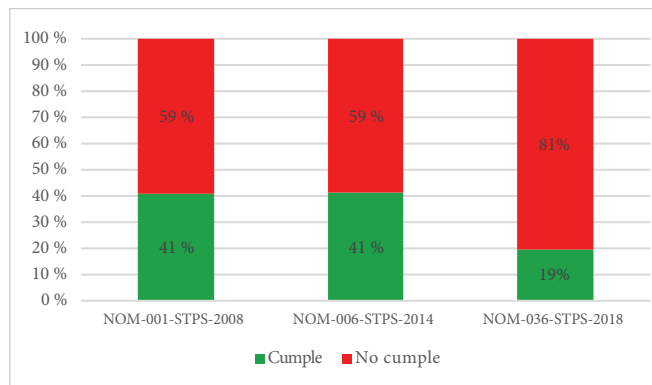


Figura 3. Cumplimiento de las normas aplicables planta TIF.

ACCIONES CORRECTIVAS

1. Realizar un mejor acomodo de mercancía y materiales en almacén:

- Transferir información sobre productos que ya se hayan terminado en tiempo real para que, de esa manera, el personal de producción no esté trabajando a un ritmo diferido de las existencias en almacén.
- Ajustar los flujos de entrada y salida del almacén, es decir, no tener lotes de producción de producto terminado mucho más grandes que los lotes de venta.
- Evitar el riesgo de obsolescencia al aumentar el stock sin estar al tanto de las necesidades propias de la empresa y de los clientes.

2. Mejorar el procedimiento aplicado para cumplir con las actividades productivas:

- Realizar sus actividades de limpieza de carne en otro espacio.

- Esperar hasta el final de su proceso productivo para despejar el piso de cualquier suciedad con la manguera.
3. Reparar puerta en temperado:
- Reparar la puerta para dejarla en las condiciones adecuadas.
 - Dar mantenimiento preventivo a todos los inmuebles.
4. Mejorar el acomodo en almacén de secos
- Mantener todos los costales, envoltorios y empaques separados de la pared para evitar cualquier contacto con la humedad o condensación que se forme en ella.
 - Cerrar correctamente toda la materia prima después de usarla.
 - Mantener la temperatura en el rango de los 20 °C.
 - Controlar la humedad, los niveles óptimos son del 15 % o menos.
 - Evitar que entre la luz del sol.
 - Acomodar el producto de manera que permita la circulación del aire.

IV. CONCLUSIONES

Una vez analizadas las diferentes áreas de la empresa correspondientes a la planta TIF, se identificaron los peligros en las estaciones de trabajo que ponen en riesgos a los tres componentes: proceso, producto y mano de obra.

Además, a través de las listas de verificación se realizó un diagnóstico de las normas aplicables para sustentar las propuestas de las acciones correctivas y preventivas señaladas para dar cumplimiento a los requisitos legales mencionados con el fin de evitar costos por accidentes, multas y pérdidas por la disminución de la productividad. Se detectaron riesgos moderados, lo que podría generar como consecuencias incapacidades, daño a la

infraestructura, incumplimiento en la demanda por retraso en entregas.

Por tanto, se concluye que es recomendable que la empresa documente un plan de contingencia, ponga en marcha acciones correctivas, capacite y concientice a su personal de manera inmediata. Adecuar las instalaciones y mejorar las condiciones del ambiente laboral, permitirá reducir los riesgos mencionados y de esta forma aumentar la eficiencia en los trabajadores, lo que se verá reflejado en aumento de la productividad y mayores beneficios en la imagen y competitividad de la empresa.

REFERENCIAS

- [1] I. Chiavenato, *Administración de Recursos Humanos*, 2.ª ed. México: McGraw Hill, 2000.
- [2] F. V. Valdez y A. F. Fernández, “Plan de diseño para la mejora y control del sistema de seguridad, salud ocupacional y ergonomía para la empresa Master Unlimited”, proyecto de grado, Universidad Iberoamericana (UNIBE), Santo Domingo, República Dominicana, 2022.
- [3] E. Fortea, “Metodología AMFE para la prevención de riesgos laborales”, *unifikas.com*. [En línea]. Disponible en: https://www.unifikas.com/sites/default/files/documentos/metodologia_amfe_para_prl.pdf. [Accedido: may. 24, 2024].
- [4] *Manejo y almacenamiento de materiales-Condiciónes de seguridad y salud en el trabajo*, NOM-006-STPS-2014, Secretaría de Trabajo y Previsión Social, México, 2014.
- [5] *Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciónes de seguridad*, NOM-001-STPS-2008, Secretaría de Trabajo y Previsión Social, México, 2008.
- [6] *Factores de riesgo ergonómico en el Trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte I: Manejo manual de cargas*, NOM-036-1-STPS-2018, Secretaría de Trabajo y Previsión Social, México, 2018.