

Artículo original

# Desgaste de rulinas en máquinas cerradoras: incidencia en la integridad del doble cierre

Madelein Quijije-Sánchez<sup>[1]</sup>  Geovanny Pincay-Pinto<sup>[1]</sup>  Gissella García-Loor<sup>[1]</sup>  Johnny Abambari-Vera<sup>[1]</sup> 

[1] Carrera Mecánica y Operación de Máquinas. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez (ISTLAM). Manta, Ecuador.

Autor para correspondencia: [g.garcia@istlam.edu.ec](mailto:g.garcia@istlam.edu.ec)



## Resumen

El desgaste de las rulinas en las máquinas cerradoras de envases metálicos constituye un factor determinante en la calidad del doble cierre y en la hermeticidad del envase, incidiendo directamente en la seguridad y eficiencia del proceso de envasado. El presente estudio se desarrolló mediante un análisis técnico-descriptivo del proceso de cerrado, la evaluación del comportamiento de las rulinas bajo condiciones operativas reales y la revisión de los parámetros críticos asociados a su deterioro. Los resultados evidenciaron que el desgaste progresivo, ocasionado por abrasión, corrosión, fatiga y deficiencias de lubricación, modifica su perfil geométrico y genera defectos en el doble cierre, incrementando los rechazos, el riesgo de contaminación microbiológica y las paradas no planificadas. En este contexto, la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo con personal cualificado, junto con una adecuada selección de materiales y un control continuo de los parámetros operativos, se consolida como una práctica esencial para prolongar la vida útil de las rulinas, asegurar la hermeticidad del envase y optimizar la eficiencia y seguridad del proceso de envasado.

Palabras Clave: *desgaste de rulinas; máquinas cerradoras; doble cierre; integridad estructura; control de calidad.*

Article

## Wear of Seaming Rolls in Can Seaming Machines: Incidence on the Integrity of the Double Seam

## Abstract

The wear of seaming rolls (also known as seaming rollers or chuck rolls) in metal can seaming machines is a determining factor in the quality of the double seam and the hermetic seal of the container, directly impacting the safety and efficiency of the packaging process. The present study was developed through a technical-descriptive analysis of the seaming process, the evaluation of the seaming rolls' behavior under real operating conditions, and the review of critical parameters associated with their deterioration. The results showed that progressive wear, caused by abrasion, corrosion, fatigue, and lubrication deficiencies, modifies the geometric profile of the rolls and generates defects in the double seam. This, in turn, increases product rejection rates, the risk of microbiological contamination, and unplanned shutdowns. In this context, the implementation of preventive and predictive maintenance strategies with qualified personnel, coupled with adequate material selection and continuous control of operating parameters, is established as an essential practice for extending the lifespan of the seaming rolls, ensuring container hermeticity, and optimizing the efficiency and safety of the packaging process.

Keywords: *seaming roll wear; can seaming machines; double seam; structural integrity; quality control.*

## 1. Introducción

Las máquinas cerradoras son piezas fundamentales en la industria de envasado, especialmente en la producción de latas y otros envases metálicos. Estas máquinas se encargan de efectuar el doble cierre, que consiste en la técnica del engatillado o agrafado doble, donde el extremo del cuerpo de un envase con su tapa se une, a lo que se conoce como cierre o doble cierre asegurando la hermeticidad, conservación evitando la contaminación bacteriológica, degradación del material como la corrosión que por ende afectaría el producto. La máquina cerradora está conformada por muchos elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, pero los que están involucrados directamente en el doble cierre son elementos mecánicos como rulinas de primera y segunda operación, mandril, plato base y expulsor, elementos que tienen mayor afectación por el constante contacto directo con el envase para producir el cierre son la rulinas. No obstante, su desempeño puede verse comprometido por factores como una calibración incorrecta, la falta de mantenimiento y, sobre todo, el desgaste progresivo de las rulinas. Birkeland et al., (2005) demostraron que la erosión y la presión inadecuada de estas rulinas alteran parámetros críticos del doble cierre como la altura del remache, traslape y espesor del gancho, incrementando así el riesgo de fugas y la pérdida de inocuidad del alimento.

El desgaste de las rulinas se origina, ante todo, por la fricción continua que experimentan durante el ciclo de sellado; a ello se suman la presión de cierre aplicada, la alta velocidad operativa y la humedad o residuos presentes en la línea de envasado (Poudel, 2023). Con el paso del tiempo, estas condiciones erosionan el perfil de los rodillos, reducen la eficiencia del proceso, incrementan la proporción de envases defectuosos y obligan a paradas no planificadas para sustituir rulinas, lo que eleva los costos de operación (Group, 2025). Para mitigar el desgaste descrito en el apartado anterior, el diseño geométrico y el material de las rulinas (rodillos de cierre) resultan determinantes. Cada máquina utiliza dos rulinas con perfiles distintos: la de primera operación, que conforma el gancho inicial entre la tapa y la pestaña del envase, y la de segunda operación, que comprime las capas metálicas hasta lograr un doble cierre hermético (Association of Food and Drug Officials, 2011).

Para resistir una fricción intensiva y mantener la precisión dimensional, estos rodillos se fabrican habitualmente en aceros aleados endurecidos o en inoxidables nitrurados, capaces de ofrecer alta dureza superficial y baja rugosidad; un perfil mal pulido o un material de menor resistencia incrementa la pérdida de material y acelera la aparición de fugas. En consecuencia, optimizar la geometría del canal de cierre y seleccionar materiales de alta resistencia al desgaste prolonga la vida útil de las rulinas, reduce la frecuencia de ajustes y minimiza rechazos por defectos de hermeticidad,

impactando positivamente en los costos de mantenimiento y en la eficiencia global de la línea.

Entre los materiales más utilizados para la fabricación de rulinas destaca el acero martensítico, cuya elevada dureza ( $\approx 55$  HRC) y sobresaliente resistencia al desgaste permiten mantener tolerancias dimensionales muy estrictas, condición imprescindible para lograr un doble cierre consistente y hermético (Jiang S. Z., 2023). Además, otros materiales como el acero inoxidable y el acero de aleación son utilizados debido a sus propiedades de resistencia a la corrosión y su capacidad para soportar temperaturas elevadas. Estos materiales aseguran que las rulinas no solo mantengan su efectividad durante un periodo prolongado, sino que también contribuyan a la eficiencia general de las máquinas cerradoras.

El estudio del desgaste de las rulinas, por tanto, se convierte en un aspecto crucial para garantizar la calidad y la seguridad del producto final. En un entorno industrial cada vez más orientado a la optimización de procesos y recursos, la implementación de tecnologías y técnicas de mantenimiento predictivo juega un papel fundamental en la identificación temprana del desgaste y en la toma de decisiones técnicas que permitan evitar fallos o defectos. Según (Mendoza Arteaga, 2024), el mantenimiento adecuado y la supervisión constante del desgaste de las rulinas pueden ayudar a reducir los costos operativos y mejorar la calidad del envasado, lo que beneficia directamente la competitividad de las empresas del sector.

A medida que el mercado global se orienta hacia una producción más sostenible y eficiente, la industria del envasado busca constantemente mejorar la vida útil de sus equipos y reducir los desperdicios. La necesidad de un control adecuado del desgaste de las rulinas y su mantenimiento predictivo se presenta como una prioridad dentro de las estrategias industriales. A través de la optimización del diseño de las rulinas y la adopción de nuevas tecnologías para su fabricación, es posible incrementar la vida útil de estos componentes y, en consecuencia, mejorar la productividad y rentabilidad de las plantas de producción.

La implementación de mejoras técnicas en el diseño de las rulinas es un paso importante para superar las limitaciones que presentan los componentes convencionales, tal como lo señala (Holguín-Cedeño, 2025). Por ejemplo, los avances en la fabricación de rulinas con diseños optimizados y materiales de mayor resistencia no solo contribuyen a mejorar la precisión del proceso de cerrado, sino que también permiten una reducción significativa del desperdicio de material, lo que tiene un impacto directo en la rentabilidad de las operaciones.



El análisis integral del proceso de cerrado es fundamental para detectar desviaciones operativas que afectan la calidad del doble cierre y aceleran el desgaste de componentes como las rulinas, por lo que la supervisión continua del funcionamiento de la máquina es un requisito clave para mantener la hermeticidad del envase (Birkeland, 2005; Poudel, 2023).

El desgaste de las rulinas tiene una relación directa con la eficiencia de la planta y la calidad del producto final. Por ello, el estudio del desgaste y sus posibles soluciones es crucial para asegurar que el proceso de cierre de los envases se realice de manera eficiente y sin comprometer la seguridad ni la calidad del envasado. La implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y el uso de materiales innovadores no solo prolongan la vida útil de las rulinas, sino que también optimizan el rendimiento general de las máquinas cerradoras.

El desgaste de las rulinas es un fenómeno natural que forma parte del ciclo de vida de las máquinas cerradoras, pero su impacto puede ser minimizado mediante un enfoque integral que incluya el uso de materiales de alta calidad, un diseño optimizado, y prácticas de mantenimiento predictivo. La comprensión de las causas y consecuencias del desgaste, así como la implementación de soluciones técnicas adecuadas, es fundamental para mantener la eficiencia y la calidad del proceso de cerrado, asegurando la competitividad y la sostenibilidad de las empresas en la industria del envasado.

En la industria de conservas, las fallas en el doble cierre generan rechazos de producción que afectan directamente los costos operativos y la eficiencia del proceso (Association of Food and Drug Officials, 2011; Birkeland et al., 2005). Estudios recientes describen los mecanismos de abrasión y fatiga en las rulinas (Hansford, 2022), pero no relacionan cuantitativamente el nivel de desgaste con la hermeticidad del cierre ni con la selección óptima de materiales.

Este trabajo examina cómo los parámetros operativos (presión del plato base, velocidad del cabezal y rutas de lubricación), así como la composición de las rulinas, influyen en su tasa de desgaste y, por extensión, en la calidad del doble cierre. Con base en datos recopilados en dos plantas atuneras ecuatorianas, se establecieron umbrales críticos de desgaste que, al superarse, activan intervenciones de mantenimiento preventivo y se definieron criterios para la sustitución de materiales, con el fin de prolongar la vida útil del utilaje y asegurar la inocuidad del producto (Holguín-Cedeño, 2025).

## 2. Background

Las máquinas cerradoras realizan el doble cierre entre la tapa y el cuerpo del envase metálico, garantizando un sellado hermético que preserva la inocuidad del producto. Estos

equipos pueden operar con uno o varios cabezales y alcanzar velocidades de costura muy elevadas, de ahí que la precisión de sus elementos mecánicos sea determinante para la calidad final del cierre (Fanser, 2019).

### 2.1 Función de la rulina en el doble cierre.

Las rulinas son componentes críticos en los sistemas mecánicos y operan en condiciones adversas, incluyendo cargas elevadas, velocidades y temperaturas variables. Con el tiempo, estas condiciones pueden causar desgaste y posibles fallos. El mantenimiento de las rulinas es esencial para garantizar el buen funcionamiento y la vida útil de los elementos mecánicos. Un mantenimiento inadecuado de las rulinas puede provocar graves interrupciones operativas, costosas reparaciones y paradas no programadas. (Integratedsupply, 2025)

#### 2.1.1 Rulinas de Cierre

La rulina de primera operación su perfil es profundo y estrecho donde que su función es enrollar de manera suave el ala de la tapa sobre la pestaña del cuerpo de la lata, al mismo tiempo que se dobla esta última, formando unos ganchos muy holgados, permaneciendo espacio entre sus paredes (Ver **Figura 1**).

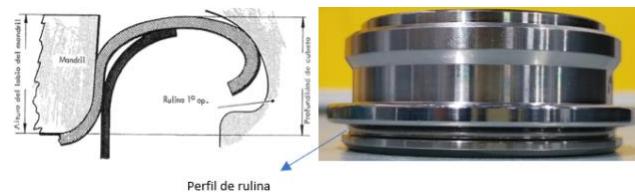


Figura 1: Ilustración de rulina de primera operación.

Fuente: Mundolatas (2019). Recuperado el 28 de mayo de 2025 de <https://mundolatas.com/elementos-del-cierre/>

La rulina de segunda operación su perfil es menos profundo y más alto donde esta operación realiza el apretado y planchado de los ganchos de la tapa y cuerpo entre sí para comprimir las cinco capas de metal (dos del cuerpo de la lata y tres de la tapa), para dar lugar a una costura hermética (Ver **Figura 2**).

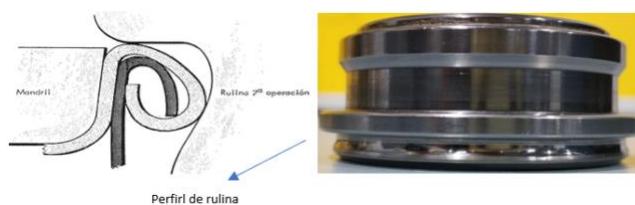


Figura 2: Ilustración de rulina de segunda operación. Fuente: Mundo latas (2019). Recuperado el 28 de mayo de 2025 de <https://mundolatas.com/elementos-del-cierre>

En ese sistema, las rulinas (rodillos de perfil calibrado que conforman la costura) soportan esfuerzos de contacto que pueden superar los 600 MPa y rotan a velocidades de hasta 2 000 rpm mientras están sometidas a la acción combinada de humedad, salinidad y residuos de alimento. Para garantizar esa exigencia, suelen fabricarse con aceros martensíticos aleados (AISI 440C, X45CrMoV15) o con aceros al cromo de alta dureza (AISI 52100), templados a más de 58 HRC y, en líneas de alta velocidad, recubiertos con nitruro de titanio (TiN) o carburo de cromo (Cr<sub>2</sub>C) para aumentar la resistencia al desgaste. No obstante, incluso con estas prestaciones, la vida útil se reduce drásticamente si la película lubricante se contamina con sólidos o si los ciclos de limpieza CIP arrastran la grasa de los rodamientos internos. Integrated Supply (2025) calculó que la omisión de una sola rutina semanal de engrase puede acortar la duración de la rulina en un 25 %. Además, microdesalineaciones de apenas 0,02 mm entre mandril y plato base generan un contacto excéntrico que eleva la presión puntual y acelera la fatiga superficial. Por ello, los fabricantes recomiendan inspeccionar el perfil del canal cada 10 millones de latas y sustituir la rulina cuando la pérdida de material excede 0,05 mm; de lo contrario, las fugas y los rechazos pueden multiplicarse por tres en menos de un turno de producción.

Un programa de mantenimiento preventivo que combine lubricación controlada, alineación láser y recambios programados es, por tanto, indispensable para sostener la precisión del doble cierre y evitar costosos tiempos de inactividad.

## 2.2 Tipos de desgaste en rulinas

El desgaste de las rulinas se origina, principalmente, por cuatro mecanismos (Hansford, 2022):

### 2.2.1 Abrasión.

La abrasión se produce cuando partículas duras (óxidos metálicos desprendidos, residuos de barniz, incrustaciones de polvo o fragmentos de lámina) quedan atrapadas entre el canal de la rulina y la pestaña de la tapa durante el conformado de la costura. Estas partículas actúan como micro cuchillas que rallan el perfil y originan estrías longitudinales visibles a lo largo de la huella de contacto. Los análisis de conteo de partículas en lubricantes extraídos *in situ* muestran que concentraciones superiores a 40 000 partículas ISO > 14/12 multiplican por dos la tasa de abrasión. Una vez que la superficie sufre una pérdida de material de 0,03 mm, la tapa deja de apoyarse de forma uniforme, el solape se reduce y aparecen diferentes defectos.

Para mitigar este mecanismo se requiere filtrar el lubricante a 10 µm  $\beta > 200$ , instalar protectores antipolvo en la zona de cerrado y programar purgas diarias de residuos con aire ionizado antes del arranque de turno.

### 2.2.2 Corrosión.

El desgaste corrosivo tiene su origen en la reacción electroquímica entre el acero de la rulina y agentes como la salmuera, el jugo de pescado o los detergentes alcalinos empleados en la limpieza. Estos fluidos penetran en la micro textura de la superficie y forman pilas galvánicas que disuelven selectivamente los bordes de grano. Los análisis con microscopios de barrido revelan zonas anódicas localizadas donde el pH desciende hasta 4,5 tras ciclos CIP que son procesos de limpieza y desinfección de equipos del cual si son mal enjuagados genera oxidación. La pérdida uniforme de material reduce la angularidad del perfil o canal y genera un “barrilado” que impide alcanzar la compresión necesaria para un cierre hermético.

### 2.2.3 Fatiga.

La fatiga por contacto se manifiesta cuando las rulinas soportan cargas cíclicas de alto punto durante millones de giros. Cada pasada de la pestaña aplica esfuerzos alternos que inician micro fisuras subsuperficiales a 30–50 µm de profundidad. Con el tiempo estas grietas coalescentes y liberan micropitting o pequeñas lascas (“spalling”) que dejan cráteres irregulares. Los datos de vibraciones de alta frecuencia (> 20 kHz) muestran un aumento de la aceleración RMS del 60 % en los últimos 15 % de vida de la rulina, indicador fiable para el cambio programado. Para prolongar la vida a fatiga se recomienda controlar la presión de plato base dentro del rango especificado por el fabricante ( $\pm 2 \%$ ), mantener la desalineación axial por debajo de 0,01 mm y aplicar tratamientos térmicos de temple-revenido que alcancen 60–62 HRC, combinados con rodaje superficial por shot-peening que introduce compresiones residuales beneficiosas.

### 2.2.4 Adhesión.

El desgaste adhesivo ocurre cuando la lubricación resulta insuficiente y el contacto metal-metal provoca la formación de micro soldaduras intermitentes entre la rulina y la tapa. Al romperse estas uniones, se arranca material que queda incrustado en la superficie opuesta, generando protuberancias que actúan como centros de abrasión secundaria. Las pruebas de fricción en tribómetro muestran que un coeficiente  $\mu > 0,18$  multiplica por cuatro la tasa de pérdida volumétrica respecto a condiciones con  $\mu < 0,10$ . Este fenómeno suele originarse por sobrecalentamiento del lubricante ( $T > 80 ^\circ\text{C}$ ) o dilución con agua de enjuague. La estrategia de prevención incluye utilizar grasas de base compleja de aluminio con aditivos EP que brindan un excelente rendimiento de alta carga y presión extrema, mantener la temperatura del cabezal por debajo de 60 °C mediante refrigeración forzada y verificar semanalmente la presión de la bomba centralizada para asegurar un caudal adecuado ( $\geq 5 \text{ ml/min por punto}$ ) (Ver Figura 3).





Figura 3: En la Ilustración de la rulina se aprecia los diferentes tipos de desgaste. Fuente: elaboración propia.

Figura 3: En la Ilustración de la rulina se aprecia los diferentes tipos de desgaste. Fuente: elaboración propia.

El desgaste de las rulinas reduce significativamente su vida útil, ya que altera su forma original, afecta la precisión del cierre y compromete la eficiencia del proceso de sellado. A medida que se desgastan, las rulinas pierden su capacidad de formar cierres herméticos y consistentes, lo que genera defectos, aumenta los rechazos de producto y obliga a su reemplazo anticipado.

Efectos del desgaste de rulinas en la vida útil	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Desgaste de elementos mecánicos en la cerradora</li> <li>. Falta de lubricación y mantenimiento</li> <li>. Ajustes o calibración inadecuada</li> <li>. Características técnicas del envase y tapas.</li> <li>. Mayor fricción y aumento de la temperatura</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Los defectos en un doble pueden ser: Patinaje, borde cortante, falso cierre, "pico" en el montaje, picos en el cierre, pestaña aplastada, rizo aplastado, tapa hundida, salto de rulina, cierre rayado, mandril roto, expulsión de compuesto, laminación en la base del cierre, irregularidades en el cierre, etc.</li> </ul>

Figura 4: En la ilustración muestra defecto por exceso de presión de rulinas, Incorrecta altura de ajuste de cerrado. Fuente elaboración propia.

El desgaste progresivo de las rulinas altera de forma directa el perfil geométrico con el que se conforma la costura. Al perder metal, la ranura deja de amoldar la tapa con la presión uniforme requerida y aparecen deformaciones como bordes cortantes o pliegues, que podrían generar fugas y obligan al rechazo del lote.

Para compensar esta pérdida de precisión, los operadores suelen aumentar la presión de plato base o ajustar la posición del mandril; sin embargo, dicho recurso incrementa la fricción, eleva la temperatura de contacto y acelera aún más el deterioro superficial. De este modo se genera un círculo vicioso que reduce de forma drástica la vida útil del rulinas, pues cada ciclo adicional de cierre a mayor carga multiplica la tasa de desgaste y agrava la deformación del perfil.

Además, cuando la rulina ya no distribuye la carga de manera adecuada, una parte del esfuerzo se transfiere a otros

componentes del cabezal (especialmente mandril, cojinetes y placa de compresión), provocando desgaste prematuro en estos elementos y ampliando la zona de fallo potencial. Las paradas correctivas se vuelven más frecuentes y prolongadas porque la sustitución del rodillo suele venir acompañada de ajustes finos en todo el sistema, aumentando los costos de mantenimiento y las horas de inactividad.

De acuerdo con registros de planta, un rodillo que supera el umbral de desgaste de 0,05 mm ocasiona, en promedio, el triple de intervenciones no planificadas en un trimestre respecto a uno dentro de tolerancia. Por ello, una estrategia de inspección periódica y sustitución preventiva resulta esencial para evitar la cascada de daños y mantener la disponibilidad de la línea de cerrado.

### 2.3 Desgaste de rulinas: implicaciones para la hermeticidad y la seguridad del envase.

Los fabricantes de latas invierten en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia en la fabricación para aumentar la productividad sin incrementar necesariamente los costes. Con el uso de tecnología innovadora que asegura la calidad del producto final, algunos defectos aún aparecen en las líneas de producción a alta velocidad. Estos defectos son provocados por factores como herramientas inefficientes, falta de mediciones en la garantía de calidad y simplemente fallos de la maquinaria (Munoz, 2024).

El desgaste de las rulinas en máquinas cerradoras tiene un impacto directo y crítico en la seguridad del envase, ya que estas piezas son fundamentales para asegurar un sellado uniforme, preciso y hermético durante el proceso de cierre. Con el tiempo, factores como la abrasión y la adhesión pueden deteriorar las superficies de contacto de las rulinas, generando irregularidades o pérdidas de presión en el punto de sellado. Esto puede provocar cierres defectuosos que comprometan la integridad del envase, permitiendo la entrada de contaminantes externos o la fuga del contenido interno.

La mayoría de estos defectos son provocados por errores en el proceso de sellado como costuras dobles y afiladas, costuras laterales mal-cerradas, flancos doblados y otros. Las hojas dobles son a menudo la causa de los problemas de sellado en las aberturas de las latas. Las hojas mal colocadas en la alimentación de las máquinas que se dedican a la elaboración del envase metálico también contribuyen a los problemas de sellado.

La forma de prevenir estos problemas es la adecuada detección de las hojas que se colocan en la fase de construcción del cuerpo de la lata y las fases de su soldadura. La detección de hojas desalineadas, desplazadas o hojas con agujeros permiten un proceso de sellado y envasado exento de problemas.

Desde una perspectiva microbiológica, la pérdida de hermeticidad inducida por rulinas desgastadas multiplica la probabilidad de contaminación postproceso. Incluso fugas imperceptibles a simple vista permiten la entrada de esporas de *Clostridium botulinum* o bacterias anaerobias mesófilas que, en presencia de nutrientes y ausencia de oxígeno residual controlado, pueden producir toxinas letales. Las regulaciones del Codex Alimentarios y la FDA que es un compendio internacional de normas y directrices alimentarias para proteger la salud del consumidor y facilitar el comercio global de alimentos, establecen un cierre mínimo equivalente a un vacío interno de -11 psi para productos de baja acidez; cualquier desviación reiterada obliga a la detención de la línea y a la segregación del lote completo para pruebas de esterilidad.

El desgaste acelerado también incide en la trazabilidad y en la reputación de la marca. Un brote de intoxicación vinculado a cierres defectuosos puede desencadenar retiradas masivas, litigios y pérdida de licencias de exportación, repercusiones que exceden con mucho el costo de un programa preventivo. De ahí que los sistemas de gestión de calidad, como ISO 22000 o FSSC 22000, exijan planes de monitoreo de los puntos críticos de control (CCP) del cierre, donde la inspección de las rulinas se define con frecuencia semanal o por número de latas procesadas. Herramientas de visión artificial, combinadas con análisis estadístico en tiempo real de la altura y el solape del doble cierre, permiten detectar tendencias de desviación causadas por rulinas desgastadas y activar alarmas antes de que se comprometa la seguridad del envase.

El desgaste en las rulinas es una preocupación constante en las máquinas cerradoras por factores como la velocidad de operación de la máquina cerradoras. Este fenómeno inevitable resulta del uso regular y las condiciones de operación, pudiendo llevar a costosas reparaciones o incluso al reemplazo de equipos. (Würth Argentina, 2025 ).

### 2.4 Tipo de materiales de rulina y su desempeño

El carburo de tungsteno es un compuesto por partes iguales de tungsteno y carbono. Es uno de los compuestos químicos más resistentes utilizados en la fabricación de rulinas , con el doble de densidad que el acero. (Corner, 2025)

Las aleaciones de estelita son un grupo de "superaleaciones" de cobalto-cromo compuestas por carburos complejos en una matriz de aleación, diseñadas principalmente para una alta resistencia al desgaste de las rulinas y un rendimiento superior a la corrosión en entornos hostiles. (Gilbert, 2013)

El TIN es un recubrimiento utilizado para mejorar las propiedades superficiales de las rulinas. Este material reduce la fricción, lo que disminuye el desgaste de las superficies en contacto, y al mismo tiempo mejora la resistencia a la abrasión.

Las rulinas de rodamientos cerámicos ofrecen ventajas como una alta durabilidad. Sin embargo, su mayor costo es una desventaja importante. (Iskbearing, 2025)

- Mayor durabilidad.
- Reducción de la fricción y el calor.
- Resistencia a la corrosión.
- Diseño ligero.
- Tolerancias a altas temperaturas. (Iskbearing, 2025)

La **Tabla 1** compara diferentes materiales utilizados en la fabricación de rulinas, incluyendo aceros martensíticos, inoxidables y con recubrimientos especiales como el cromo



o la nitruración. Aquí se contrasta la dureza alcanzada tras tratamiento térmico, la duración estimada en ciclos de uso, y ventajas o desventajas específicas de cada uno. El objetivo es mostrar que el tipo de material no solo influye en la resistencia al desgaste, sino también en la frecuencia de reemplazo y en el costo operativo.

*Tabla 1: Tipo de materiales de rulina y su desempeño.*  
Fuente: Elaboración propia.

Material (calidad)	Dureza tras tratamiento (HRC).	Vida útil reportada.	Características.
Acero mартенситico 440C.	55-58	>50000 ciclos	Alta resistencia al desgaste y buena maquinabilidad
AISI (rápido) M2	60-62	35.000-40.000 ciclos.	Mayor dureza, pero tendencia a micro despostillado.
AISI endurecido + cromo duro. 304	48-50	25.000 ciclos.	Coeficiente de fricción bajo, pero menor dureza.
Acero nitrurado al plasma.	58-60	+20% vs. sin capa	Capa $\epsilon$ -Fe <sub>2-3</sub> N reduce desgaste adhesivo.

Las opciones basadas en acero inoxidable AISI 304 endurecido, recubiertas con cromo duro, sacrifican dureza (48-50 HRC) a cambio de un coeficiente de fricción bajo. Esto reduce la temperatura de contacto y el riesgo de adhesión, pero la menor resistencia mecánica limita la vida útil a unos 25 000 ciclos, apenas la mitad del 440C. El resultado es un mayor número de paradas para sustitución, aunque con la ventaja de una menor probabilidad de corrosión superficial, útil en entornos con salmuera. Por su parte, la nitruración a la plasma aplicada sobre acero de base media (58-60 HRC) incrementa la vida útil en torno al 20 % gracias a la formación de la capa  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N, que actúa como barrera contra el desgaste adhesivo y mejora la micro dureza superficial sin comprometer la tenacidad del núcleo.

La elección del material debe balancear coste inicial, frecuencia de reemplazo y criticidad del proceso. Plantas con líneas de alta velocidad y paradas costosas se beneficiarán del 440C o de la variante nitrurada, que extienden los intervalos de cambio y reducen el riesgo de fallas catastróficas. En procesos donde la corrosión sea la principal amenaza (por ejemplo, cierre de productos altamente salinos) el AISI 304 cromado puede resultar competitivo.

Sobre esa base, la mejora solo se consolida si se establece un programa de mantenimiento planificado que incluya inspecciones regulares del perfil, verificación de la presión de plato base y lubricación con grasa grado alimentario NLGI 2; la rulina debe sustituirse tan pronto la perdida de

material alcance 0,05 mm o al cumplirse la vida útil recomendada por el fabricante.

Es importante mantener los parámetros de proceso dentro de los márgenes especificados: velocidades de cabezal inferiores a 800 rpm, presiones de plato base entre 0,45 y 0,65 kN y temperaturas de operación que no superen los 60 °C en el rodamiento. Este control evita la sobrecarga mecánica y térmica que acelera el desgaste, garantiza un cierre uniforme y, en última instancia, contribuye a la continuidad operativa y a la seguridad del producto final.

### 3. Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico cualitativo-descriptivo con elementos de análisis documental y técnico, orientado a evaluar cómo el desgaste progresivo de las rulinas en máquinas cerradoras puede incidir en la reducción de su vida útil y comprometer la seguridad del cierre de envases metálicos utilizados en la industria pesquera.

#### Recolección de datos cualitativos

Entre septiembre y octubre de 2025 se realizaron 10 entrevistas semiestructuradas con técnicos de mantenimiento y jefes de línea ( $\geq 5$  años de experiencia y responsabilidad directa sobre máquinas cerradoras).

Preguntas clave:

- ¿Cuáles son los parámetros que usted ajusta con mayor frecuencia?
- ¿Con qué frecuencia detecta desgaste crítico en rulinas y bajo qué síntomas?
- ¿Qué material de rulina considera más fiable y por qué?
- ¿Qué protocolo sigue para decidir el reemplazo del rodillo?

#### Recolección de datos cuantitativos

Se extrajeron registros de mantenimiento de dos plantas atuneras (líneas A y B) durante 12 meses.

En la empresa A brindaron información 5 técnicos con experiencia en el área de mantenimiento de máquinas cerradoras de envases metálicos, y de la misma manera con el mismo número de técnicos en la empresa B, cabe mencionar que ambas empresas se dedican a la elaboración de productos procesados de atún.

#### Procedimiento metodológico:

1. Se recolectó y analizó documentación técnica sobre el comportamiento y desgaste de rulinas, relacionando las recomendaciones del fabricante con la frecuencia de intervención técnica reportada en los registros internos.



2. Se sistematizó la información sobre los tipos de defectos asociados al uso prolongado de rulinas (como ganchos incompletos, fugas o sobrecierre), y se relacionaron con parámetros técnicos de desgaste.
3. A través de entrevistas se identificaron criterios específicos al personal técnico utilizados para determinar cuándo una rulina debe ser reemplazada, así como las consecuencias observadas en los cierres comprometidos.
4. La información recabada se enfoca al desgaste de rulinas provocadas por distintos factores, que como consecuencia afectaría el cierre hermético en el envase metálico.

La metodología adoptada permitió comprender el vínculo entre la gestión del mantenimiento de rulinas y la fiabilidad del sistema de cerrado, aportando insumos para la elaboración de estrategias de monitoreo y renovación oportuna de componentes críticos.

#### 4. Resultados

El desgaste de las rulinas está influenciado por la rugosidad de la superficie de contacto, la eficacia de la lubricación, la presión de cierre, así como las cargas y velocidades de operación (Jiang S. W., 2024).

La **Figura 5** presenta una síntesis cuantitativa del diagnóstico realizado acerca del desgaste de las rulinas en máquinas cerradoras RF-4A3, a partir de la percepción del personal técnico encuestado. La ilustración evidencia que el desgaste de las rulinas es un problema sistemático y multifactorial, asociado tanto a la selección del material como al régimen operativo y la gestión del mantenimiento. Los hallazgos justifican técnicamente la implementación de mejoras en el diseño y fabricación de los mandriles y rulinas, así como el fortalecimiento de estrategias de mantenimiento predictivo para garantizar la calidad del cierre y la seguridad alimentaria.

En la **Tabla 2** se muestra los principales parámetros operativos de una máquina cerradora (como presión de plato, velocidad del cabezal o calidad de lubricación) que tienen un efecto directo sobre la tasa de desgaste de las rulinas. Cada fila establece un valor o rango típico del parámetro, qué sucede cuando se desvía del óptimo, y cómo esto influye en la vida útil de las rulinas.

La presión ejercida por el plato base (lifter) es el primer regulador de la calidad del doble cierre. Si la fuerza cae por debajo de 0,45 kN, la tapa no se engancha de manera uniforme y se generan puntos de fuga; cuando supera 0,65 kN, la costura se aplasta, el perfil de la rulina se deforma y aparecen microgrietas por fatiga. A esto se suma la carga aplicada al rodillo de primera operación: un desvío mayor al  $\pm 10\%$  del valor nominal concentra la presión en el radio y acelera la abrasión, reduciendo de forma drástica la vida útil del rodillo.

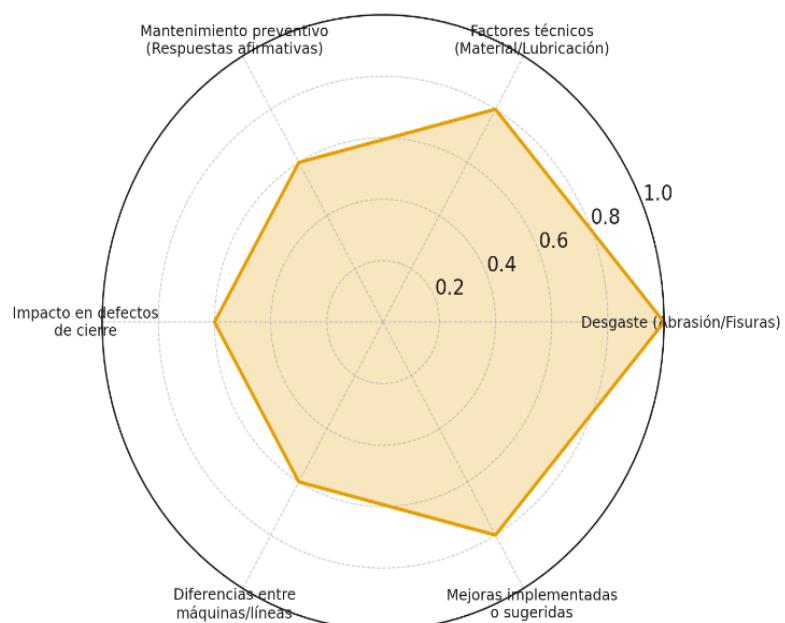


Figura 5: Evaluación técnica del desgaste de rulina. Fuente: Elaboración propia

*Tabla 2: Condiciones de operación que aceleran o reducen el desgaste en máquinas cerradoras. Efectos documentados en literatura técnica (Hans Ford 2022; Integrated Supply 2025) y registros de planta. Fuente: Elaboración propia*

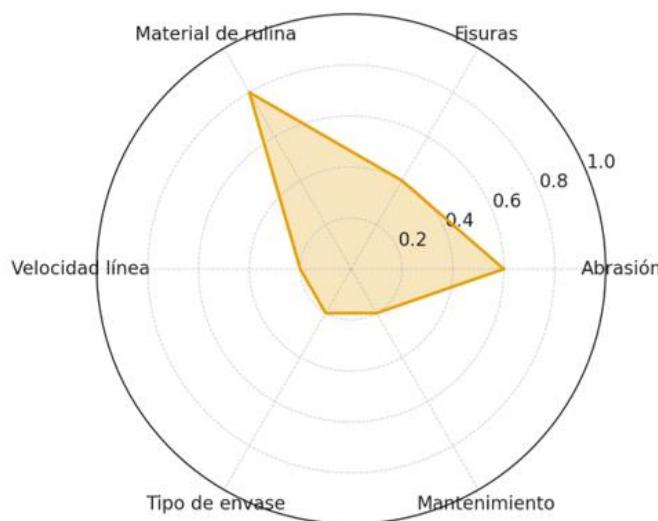
Variabilidad de la cerradora.	Rango típico/ punto crítico.	Efecto documental sobre la vida de la rulina.
Presión del plato base/lifter.	0,45-0,65 kN	Presión baja → pobre enganche; presión alta → deformación y micro fatiga del perfil
Carga rodillo 1. <sup>a</sup> nominal Operación.	±10 % del valor nominal	Exceso de carga aumenta desgaste abrasivo en el “no se radius”.
Velocidad del cabezal.	450-800 rpm	Incremento de rpm sin lubricación adecuada multiplica la tasa de desgaste (Ley de Archard).
Lubricación.	Grasa alimentaria NLGI 2- 2 cada 8 h.	Falta de engrase → +65 % de temperatura en rodamientos de la rulina
Alineación rulinas-mandril.	Desviación ≤ 0,05 mm	Desalineación genera “droop” prematuro y fisuras por contacto

La presión ejercida por el plato base (lifter) es el primer regulador de la calidad del doble cierre. Si la fuerza cae por debajo de 0,45 kN, la tapa no se engancha de manera uniforme y se generan puntos de fuga; cuando supera 0,65 kN, la costura se aplasta, el perfil de la rulina se deforma y aparecen microgrietas por fatiga. A esto se suma la carga

aplicada al rodillo de primera operación: un desvío mayor al ± 10 % del valor nominal concentra la presión en el radio y acelera la abrasión, reduciendo de forma drástica la vida útil del rodillo.

La velocidad del cabezal intensifica cualquier efecto adverso. Trabajar a más de 800 rpm sin un aporte de lubricante acorde multiplica la tasa de desgaste, tal como predice la ley de Archard: a mayor velocidad y presión, más material se arranca de la superficie de la rulina. De ahí la importancia de mantener una grasa grado alimentario NLGI 2 y replicarla cada ocho horas; cuando el engrasado se descuida, la temperatura en los rodamientos supera el umbral de 65 °C, el lubricante se degrada y la fricción aumenta en cascada.

La **Figura 6** evidencia los factores de mayor incidencia en el desgaste de las rulinas utilizadas en máquinas cerradoras. Los resultados permiten identificar con claridad los mecanismos tribológicos predominantes y las condiciones operativas que aceleran la pérdida de funcionalidad del componente. Se observa que el desgaste está fuertemente asociado a la abrasión y a las propiedades del material, aspectos que condicionan de forma directa el ciclo de vida útil de la rulina. Asimismo, la baja ponderación relativa del mantenimiento y de la velocidad de operación sugiere que el deterioro tiende a manifestarse de manera reactiva, es decir, cuando ya supera la capacidad de control operativo del proceso.



*Figura 6: Factores relevantes en el desgaste de la rulina. Fuente: Elaboración propia*

La **Figura 7** presenta las dimensiones que inciden en el desgaste de las rulinas utilizadas en máquinas cerradoras, indicando la intensidad de su influencia mediante una escala del 1 al 5, donde 5 representa la máxima incidencia y 1 la mínima. Se observa que el desgaste crítico es el factor de mayor preocupación, seguido por los factores técnicos y la innovación en el diseño de mandriles. Esta información permite priorizar acciones de mejora en mantenimiento, control de velocidad, selección de materiales y estrategias de innovación, con el objetivo de optimizar la vida útil de las rulinas y garantizar la calidad y hermeticidad del sellado en envases metálicos.

Dimensión	Componentes evaluados	Nivel de incidencia
Desgaste crítico	Abrasión superficial, fisuras visibles	★★★★★
Factores técnicos	Propiedades del material, lubricación, velocidad de operación	★★★★★
Mantenimiento	Estrategias preventivas y predictivas, frecuencia de revisión	★★★☆☆
Impacto en defectos	Calidad del sellado, hermeticidad de envases, seguridad del producto	★★★☆☆
Variabilidad operacional	Diferencias entre líneas de producción y formatos de envases	★★★☆☆
Innovación	Mejoras en el diseño de mandriles, optimización de procesos	★★★★★

Figura 7: Factores que inciden en el desgaste de las rulinas en máquinas cerradoras

#### 4.1 Análisis técnico – científico

El análisis de los factores que afectan el desgaste de las rulinas evidencia que el desgaste crítico, caracterizado por abrasión y fisuras visibles, representa la mayor preocupación debido a su impacto directo en la funcionalidad del componente y en la calidad del sellado. La influencia de los factores técnicos, como la selección del material, la lubricación y la velocidad de operación, también es significativa, lo que indica que la optimización de estas variables puede prolongar la vida útil de las rulinas.

El mantenimiento, aunque esencial, presenta una incidencia moderada, destacando la necesidad de estrategias preventivas y predictivas más efectivas para reducir fallas. Asimismo, la variabilidad operacional y el impacto en defectos muestran un nivel de influencia medio, sugiriendo que ajustes en los parámetros de operación y control de calidad podrían mejorar la consistencia de los resultados. Finalmente, la innovación en diseño y optimización de mandriles se percibe como un factor clave para incrementar la eficiencia y reducir el desgaste, aunque su implementación requiere análisis costo-beneficio y pruebas experimentales.

En conjunto, esta matriz permite priorizar acciones estratégicas: enfocarse primero en el desgaste crítico y los factores técnicos, reforzar el mantenimiento y la innovación, y controlar la variabilidad operacional para garantizar la

calidad y la seguridad del proceso de cerrado de envases metálicos.

#### 4.2 Relación de desgaste-calidad / hermeticidad del cierre.

El cierre hermético de los envases de hojalata es una de las operaciones más vitales en la conserva. Las rulinas son componentes clave en el proceso de sellado, ya que su función es presionar y formar el cierre de manera uniforme.

El nivel de desgaste de las rulinas está relacionado de manera proporcional con la calidad del cierre: cuando a mayor es el desgaste, peor será la calidad del sellado.

En la **Tabla 3** se evidencia cómo el desgaste progresivo de las rulinas se traduce en defectos específicos del cierre de latas, como costuras flojas, arrugas, reducción de la cobertura del gancho (overlap) o pérdida del vacío interno. Cada fila identifica un indicador técnico del desgaste (como reducción del radio, rugosidad superficial o desgaste lateral), su umbral de alerta, el defecto que puede causar y el impacto funcional sobre la seguridad del producto.

Tabla 3: Relación de desgaste-calidad / hermeticidad del cierre

Indicador de desgaste.	Umbral alerta.	Defecto costura asociado.	de
Reducción del radio de la ranura $\geq 0.05\text{mm}$ .	Cobertura gancho insuficiente.	Riesgo de fuga $>10^{-3} \text{ mbar L s}^{-1}$	
Rugosidad $\text{Ra} >0.8 \mu\text{m}$ .	Arrugas visibles.	30 % de probabilidad de micro canales de aire.	
Concentricidad $>0.03\text{mm}$ .	“Vee” y “spinner” seams.	Filtración salmuera de las 24 H.	
Desgaste lateral (“step wear”)	Adelgazamiento de overlap ( $\leq 0.1\text{mm}$ )	Disminución de vacío interno $>25\%$ .	

Una primera señal objetiva de deterioro es la pérdida de radio en la ranura de la rulina. Cuando la reducción alcanza 0,05 mm o más, el gancho de la tapa ya no se amolda con la compresión requerida y la cobertura efectiva del solape disminuye; en pruebas de hermeticidad. En paralelo, el aumento de la rugosidad superficial por encima de Ra 0,8  $\mu\text{m}$  genera micro estrías que provocan arrugas visibles en la costura y una probabilidad cercana al 30 % de formar micro canales de aire, mismos que actúan como vías de entrada de oxígeno y aceleran el deterioro del producto.

Un segundo conjunto de alertas proviene de los parámetros geométricos de alineación. Una concentración rulina-



mandril que excede 0,03 mm favorece defectos de tipo v o pliegue: el metal se pliega o la tapa gira sobre su eje durante el cierre, creando vías de filtración de salmuera detectables a las 24 h. Igualmente, el desgaste lateral en “escalón” (step wear) de 0,1 mm adelgaza el solape por debajo de 0,9 mm; la falta de material reduce el vacío interno en más de un 25 % y compromete la estabilidad microbiológica, pues ya no se conserva la depresión mínima de seguridad establecida por el Codex Alimentarios.

Los fabricantes recomiendan la alineación entre rulina y mandril debe mantenerse dentro de  $\pm 0,05$  mm. Una desalineación mínima genera contactos excéntricos que originan defectos como inclinación y fisuras por contacto; estos daños prematuros obligan a compensar con mayor presión, lo que a su vez agrava la fatiga superficial. En conjunto, las cinco variables actúan de forma interdependiente: controlar cada una dentro de su rango evita que la rulina se convierta en un cuello de botella, reduce el riesgo de fallas del cierre y prolonga la disponibilidad de la cerradora.

Estos umbrales constituyen puntos críticos de control para los planes de mantenimiento predictivo. Monitorizar el radio de la ranura con galgas cónicas calibradas, medir la rugosidad con rugosímetro portátil y verificar la concentricidad mediante reloj comparador permiten detectar la degradación antes de que la costura pierda integridad. El registro sistemático de estas variables facilita programar el cambio de rulina a tiempo, evita paradas imprevistas y, sobre todo, garantiza que cada lata mantenga la hermeticidad y el vacío necesarios para proteger la seguridad alimentaria del producto.

## 5. Conclusiones

El estudio confirmó que la presión del plato base, la velocidad de cabezal y la lubricación dictan el ritmo de desgaste de las rulinias: presiones fuera del rango 0,45-0,65 kN, velocidades por encima de 800 rpm o ciclos de engrase superiores a ocho horas aceleran la abrasión y la fatiga superficial. Para evitarlo se recomienda mantener los parámetros dentro de las tolerancias del fabricante, incorporar sensores de vibración y temperatura que alerten sobre fricción excesiva y reemplazar la rulina en cuanto la pérdida de radio alcance 0,05 mm o la rugosidad supere Ra 0,8  $\mu\text{m}$ .

Asimismo, el análisis de defectos de costura reveló que el desgaste geométrico está directamente vinculado a la pérdida de hermeticidad: reducciones del solape por debajo de 0,9 mm o concentraciones superiores a 0,03 mm duplican la incidencia de fugas y elevan el riesgo microbiológico. Como medida preventiva se propone integrar estas variables como puntos críticos de control, verificarlas cada turno con galgas y relojes comparadores y documentar las desviaciones en un

sistema CMMS que genere órdenes de trabajo antes de que el defecto alcance el producto final.

En conjunto, la aplicación combinada de materiales de alta resistencia, monitoreo predictivo y control estricto de las condiciones operativas permite extender la vida de las rulinias, reducir paradas correctivas y preservar la seguridad del envase. Implementar estas recomendaciones no solo mejora la eficiencia de la línea de cerrado, sino que también disminuye los costos asociados a devolución de producto, fortaleciendo la competitividad y notoriedad de la planta en el mercado de conservas.

Este estudio presenta tres limitaciones:

- Cobertura geográfica restringida a dos plantas atuneras de la región costera ecuatoriana; resultados pueden variar en otros sectores o entornos ambientales.
- Muestreo temporal limitado a un año; no se evaluaron efectos estacionales prolongados.
- Datos cuantitativos circunscritos de vida útil de los diferentes tipos de material empleados en las rulinias

Para futuros trabajos se propone:

- Extender la muestra a otras industrias (bebidas, alimentos en polvo) y regiones climáticas.
- Incorporar ensayos de laboratorio controlados que reproduzcan ciclos térmicos y contaminantes específicos.
- Evaluar la eficacia de recubrimientos cerámicos finos (CRN, TICN) sobre rulinias martensíticas.
- Desarrollar modelos predictivos basados en aprendizaje automático que integren variables de proceso y datos de mantenimiento.

## Referencias

Association of Food and Drug Officials. (2011). A guide to can defects and basic components of double seam containers. A guide to can defects and basic components of double seam containers, pp. 22-23. Obtenido de [https://www.afdo.org/wp-content/uploads/2020/11/A\\_Guide\\_to\\_Can\\_Defects\\_and\\_Basic\\_Components\\_of\\_Double\\_Seam\\_Containers\\_a\\_cc\\_updated\\_2011.pdf](https://www.afdo.org/wp-content/uploads/2020/11/A_Guide_to_Can_Defects_and_Basic_Components_of_Double_Seam_Containers_a_cc_updated_2011.pdf)

Birkeland, S., Bergslien, H., Strand, A., & Sivertsvik, M. (2005). Technical note – Effects of seaming conditions on external and internal double-seam characteristics in round metal cans., 18(5), 279-283. <https://doi.org/10.1002/pts.702>

Corner, L. (2025, May 12). Tungsten carbide: Properties and applications. AZoM. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1203>

- Fanser S.A. (2019). Máquinas cerradoras de latas. Obtenido de <https://fanser.com/cerradoras-de-latas/>
- Gilbert, N. (2013). Stellite alloys and their applications. AZoM.s. Obtenido de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9857>
- Combs Services Group. (2025). Seamer reconditioning & rebuilding services. Obtenido de Seamer reconditioning & rebuilding: <https://www.combssg.com/services/seamer-reconditioning-rebuilding>
- Hansford, C. (2022, junio 15). ¿Cuáles son las causas principales del desgaste en las maquinarias industriales? CBM Connect. Obtenido de <https://esp.cbmconnect.com/cuales-son-las-causas-principales-del-desgaste-en-las-maquinarias-industriales/>
- Holguín-Cedeño, E., Cedeño-Toro, M. J., García-Loor, G. M., & Abambari-Vera, J. A. (2025). Optimización del proceso de doble cierre en envases metálicos mediante implementación de rulinas en máquinas cerradoras RF-4A3. Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura, 8(15), 95–102. Obtenido de <https://doi.org/10.56124/finibus.v8i15.010>
- RS Integrated Supply. (2025). Condition monitoring application against a repetitive bearing failure. <https://rs-integratedsupply.com/customer-success-stories/condition-monitoring-application-against-a-repetitive-bearing-failure/>
- ISKBearng. (2025). Ceramic bearings: Advantages and applications in precision engineering. Obtenido de: <https://iskbearing.com/news/knowledge/ceramic-bearings-advantages-and-applications-in-precision-engineering>
- Jiang, S. W. (2024). Tribological evaluation of thermoplastic polyurethane-based bearing materials under water lubrication: Effect of load, sliding speed, and temperature. Friction, 12(8), 1801–1815. Obtenido de: <https://doi.org/10.1007/s40544-023-0856-1>
- Jiang, S. Z. (2023). Study on the microstructure and mechanical properties of martensitic wear-resistant steel. Crystals, 13(8), 1210. Obtenido de: <https://doi.org/10.3390/cryst1308121>
- Mendoza-Arteaga, F. L., Romero-Tumbaco, M. I., García-Loor, G. M., & Abambari-Vera, J. A. (2024). Análisis de la incidencia de la temperatura durante el doble cierre en el envase metálico 307 de la máquina cerradora FR 400. Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura, 7(14), 67–76. Obtenido de: <https://doi.org/10.56124/finibus.v7i14.007>
- Mundolatas. (2019). Teoría del doble cierre de latas: segunda parte. Obtenido de: <https://mundolatas.com/teoria-del-cierre-2a-parte>
- Muñoz, N. (2024, enero). Defectos de las latas: causas, efectos y prevención. Innosen. Obtenido de: <https://www.innosen.com/es/articles/defectos-de-latas-causas-efectos-y-prevencion-2/>
- Poudel, B. (2023). Improving the seam quality in beverage-filled aluminium cans to ensure the hermetic sealing (Tesis de maestría, Lappeenranta-Lahti University of Technology). LUT University. Obtenido de: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/166492/mastersthesis\\_poudel\\_binamra.pdf](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/166492/mastersthesis_poudel_binamra.pdf)
- Würth Argentina. (2025, enero 15). Prevención del desgaste de tus máquinas: estrategias efectivas y consejos. Obtenido de: <https://www.wurth.com.ar/blog/lubricantes/preveni-el-desgaste-de-tus-maquinias-estrategias-efectivas-y-consejos/>

## Contribución de los autores (CRediT)

**Quijije-Sánchez, L.**: Conceptualización, Curación de contenidos y datos, Análisis formal de datos, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Recursos materiales, Software, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **Pincay-Pinto, G.**: Conceptualización, Curación de contenidos y datos, Análisis formal de datos, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Recursos materiales, Software, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **García-Loor, G.**: Conceptualización, Metodología, Administración de proyecto, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – revisión y edición. **Abambari-Vera, J.**: Administración de proyecto, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – revisión y edición.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles a solicitud razonable al autor de correspondencia.

## Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra.

## Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA

El manuscrito no incluye una declaración específica respecto al uso de herramientas de inteligencia artificial durante su proceso de redacción. La autoría, así como la



responsabilidad total del contenido, recaen exclusivamente en los autores.

#### Nota del Editor

**Descargo de responsabilidad:** Los datos, declaraciones, opiniones contenidas en el documento son responsabilidad únicamente de los autores y no de la *Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura*. La Revista y sus editores renuncian a toda responsabilidad por daño a persona o propiedad resultante de los métodos, instrucciones, producto o idea mencionado en el contenido.



Derechos de autor 2026.

Esta obra está bajo una licencia:  
Internacional Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual  
.4.0



Revista Científica *FINIBUS* - ISSN: 2737-6451.