



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Fortalecimiento de Confiabilidad en Equipos Industriales Mediante la Integración del FMEA y el Análisis Cuantitativo de Confiabilidad

Ronald Camilo Burbano Ortega
Cra. 56A #61-24
rcburbano@unal.edu.co
Medellín – Colombia

Fernando Jesús Guevara Carazas
Calle 59A # 63 - 20
fjguevarac@unal.edu.co
Medellín – Colombia

Carmen Elena Patiño
Calle 67 No. 53 - 108
elena.patino@udea.edu.co
Medellín – Colombia

Resumen

Se presenta un caso de estudio que integra análisis Weibull y FMEA para mejorar la confiabilidad de un equipo industrial. Se evaluaron datos reales para estimar β y η y validar el modelo. Con base en los modos de falla críticos, se definieron acciones de mejora y se simuló un escenario sin fallas prevenibles, recalculando los parámetros de confiabilidad. El enfoque permite cuantificar el impacto del mantenimiento y propone un método reproducible orientada a la mejora continua.

Introducción

La industria de manufactura de plásticos en empaques flexibles exige altos estándares de disponibilidad, calidad y seguridad operacional, especialmente en procesos que involucran materiales sensibles y manejo de sustancias volátiles, como es el caso del proceso de laminación [1], [2].

En este contexto, los equipos críticos deben garantizar continuidad operativa y estabilidad del proceso, ya que sus fallas impactan simultáneamente la productividad, la calidad del producto final, la seguridad industrial y los costos operativos. La máquina laminadora constituye uno de los activos estratégicos dentro de este sistema productivo debido a su funcionalidad, versatilidad y nivel de criticidad técnica.

Tradicionalmente, el análisis de confiabilidad se aborda desde enfoques estadísticos o metodologías

cualitativas de análisis de fallas de manera independiente, limitando la capacidad de traducir hallazgos técnicos en mejoras estructuradas de mantenimiento [3]. El presente trabajo propone la integración del análisis cuantitativo de confiabilidad mediante modelamiento Weibull con una evaluación cualitativa basada en FMEA, con el objetivo de identificar modos de falla críticos, priorizar acciones de mejora y fortalecer la estrategia de mantenimiento.

Adicionalmente, se incorpora una validación prospectiva mediante simulación de escenarios operativos, permitiendo estimar el impacto potencial de las acciones propuestas sobre la confiabilidad futura del activo. Esta aproximación integrada busca ofrecer una herramienta metodológica orientada a la toma de decisiones y al fortalecimiento sistemático de la confiabilidad en sistemas industriales críticos.

Marco teórico

La confiabilidad y disponibilidad de los activos constituyen un pilar estratégico en la industria de empaques para los sectores alimenticio y farmacéutico, al incidir directamente en la continuidad operativa, la calidad del producto, la seguridad y los costos asociados al mantenimiento y a la no calidad. En este contexto, la confiabilidad se entiende como la probabilidad de que un sistema cumpla su función prevista durante un periodo determinado bajo condiciones específicas de operación [4].



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



A continuación, se presentarán los conceptos fundamentales que se tienen en cuenta para abordar esta investigación, así como algunos de los estudios relacionados.

Comportamiento de falla:

El comportamiento de las fallas de los activos industriales suele representarse mediante la curva de bañera, la cual describe tres etapas: mortalidad infantil (tasa de falla decreciente), vida útil (tasa aproximadamente constante) y desgaste (tasa creciente). La identificación de la etapa en la que se encuentra un equipo es fundamental para definir estrategias de mantenimiento adecuadas, ya que determina si las fallas están asociadas a defectos tempranos, eventos aleatorios o procesos de degradación acumulativa [5].

Distribución de Weibull

la distribución Weibull es una de las herramientas más utilizadas en ingeniería de confiabilidad para modelar distintos comportamientos de falla. Su función de confiabilidad se expresa como [6]:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

donde β es el parámetro de forma y η el parámetro de escala o vida característica. El parámetro β brinda información de la tendencia de la tasa de falla, mientras que el parámetro η refleja la vida característica, es decir, representa el tiempo en el cual aproximadamente el 63,2 % de la población ha fallado [6].

El ajuste del modelo Weibull requiere estimación paramétrica y validación estadística mediante pruebas de bondad de ajuste, como Kolmogorov-Smirnov, así como métricas de error como el Error Cuadrático Medio (MSE) y la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE). Estas herramientas permiten evaluar la capacidad predictiva del

modelo y su representatividad frente a los datos históricos.

El modelamiento estadístico proporciona una visión cuantitativa del comportamiento global del activo; sin embargo, no identifica de manera explícita las causas específicas que originan las fallas ni prioriza acciones correctivas.

Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)

El FMEA es una metodología sistemática orientada a identificar modos de falla potenciales, analizar sus efectos y priorizar acciones de mitigación. Su aplicación en mantenimiento permite evaluar cada modo de falla en función de tres criterios principales: severidad, ocurrencia y detección [5].

A partir de estos factores se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual facilita la jerarquización de riesgos y la asignación de recursos de mantenimiento hacia los modos de falla más críticos [5].

No obstante, el FMEA tradicional presenta una limitación relevante: si bien prioriza riesgos y orienta acciones, no cuantifica de manera directa el impacto que dichas acciones tendrían sobre los indicadores globales de confiabilidad del sistema.

Integración de enfoques cuantitativos y cualitativos:

La combinación del análisis Weibull con el FMEA permite superar las limitaciones individuales de cada metodología. Mientras el modelamiento estadístico proporciona una caracterización cuantitativa del comportamiento de falla y su tendencia temporal, el FMEA permite identificar causas raíz y definir acciones específicas [3], [7]

Diferentes autores han estudiado la combinación de herramientas de confiabilidad, obteniendo



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



resultados interesantes. J. Mesarosova, et al., emplearon FMEA para determinar los modos de fallo en componentes críticos y modelar parámetros de falla mediante regresión lineal, proponiendo una infraestructura de sensores en componentes críticos [8]. De manera similar, S. Kumar, et al. aplicaron diversas herramientas de confiabilidad como FMEA, FTA y experiencia operativa para mejorar la eficacia en la detección de fallos en un sistema de manipulación de carbón de una central eléctrica [9]

Se ha estudiado particularmente la integración de FMEA con evaluación de la distribución de Weibull, como es el caso de Alamri & Mo [7], quienes utilizaron FMEA para estructurar bloques de modos de fallo y distribuciones Weibull para analizar la confiabilidad de sistemas de producción configurados en serie y paralelo. El objetivo fue optimizar los intervalos de mantenimiento preventivo de cada bloque FMEA para garantizar continuidad operativa y minimizar costos totales de mantenimiento.

La integración de ambos enfoques posibilita vincular modos de falla críticos con su impacto estadístico en la tasa de fallas global. Esto habilita la priorización técnica de acciones, y su evaluación de impacto en la práctica.

Metodología

La metodología se estructuró para garantizar un enfoque sistemático y orientado a la toma de decisiones en la evaluación y fortalecimiento de la confiabilidad de una máquina laminadora crítica en la producción de empaques de barrera, integrando análisis estadístico y evaluación cualitativa de fallas debido a su impacto operativo, de calidad y de seguridad.

El procedimiento se organizó en cinco fases secuenciales, las cuales se ilustran y describen a continuación.

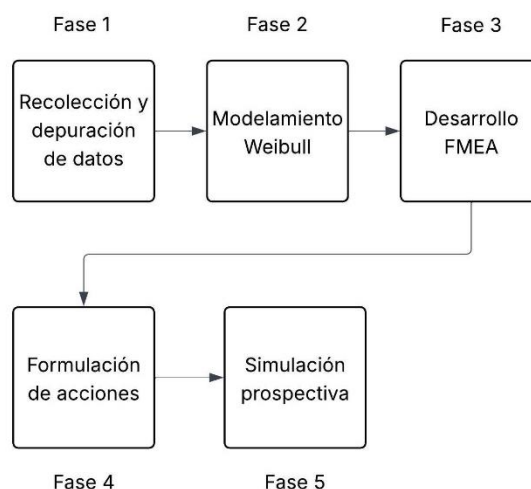


Fig 1. Metodología.

Fase 1. Recolección, depuración y clasificación de datos:

Se analizaron tres años de información histórica de fallas (2022–2024). La base de datos fue depurada eliminando:

- Intervenciones menores que no generaron paro de máquina.
- Registros duplicados o inconsistentes.
- Eventos sin trazabilidad técnica suficiente.

Posteriormente, las fallas se clasificaron por sistema, subsistema y componente, con el fin de identificar el sistema más crítico en términos de frecuencia e impacto operativo. Dada la complejidad y envergadura de la laminadora, se decidió enfocar el análisis FMEA en un único sistema crítico, priorizando profundidad técnica, para asegurar un análisis detallado y acciones técnicamente sustentadas.

Fase 2. Modelamiento estadístico de confiabilidad:

Se realizó el análisis de confiabilidad mediante la distribución Weibull de dos parámetros. La estimación de los parámetros β (forma) y η



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



(escala) se efectuó mediante métodos de estimación paramétrica aplicados a los tiempos entre fallas (TBF) de la base de datos.

La validación del ajuste se realizó mediante:

- Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov–Smirnov.
- Error Cuadrático Medio (MSE).
- Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).

Adicionalmente, se calcularon indicadores operativos complementarios: MTBF, MTTR, disponibilidad operacional y función de confiabilidad.

El análisis Weibull se desarrolló para dos bases de datos:

1. Base global (todas las fallas de la máquina).
2. Base específica del sistema crítico identificado.

Esto permitió contrastar el comportamiento global con el desempeño particular del sistema más influyente

Fase 3. Desarrollo del FMEA

El sistema crítico identificado fue el sistema aplicador de adhesivo. Este se descompuso en subsistemas y componentes, evaluando cada modo de falla mediante la metodología FMEA.

Para cada modo de falla se estimaron los factores de severidad, ocurrencia y detección, combinando análisis de datos históricos y juicio experto técnico. Con estos valores se calculó el Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

El NPR máximo identificado fue 216. Con el fin de adoptar un criterio conservador y preventivo, se estableció un umbral de intervención para $NPR > 60$. Este valor representa aproximadamente el 28

% del NPR máximo observado, permitiendo intervenir no solo los modos de falla extremos, sino también aquellos con riesgo moderado–alto que podrían escalar en criticidad si no se gestionan oportunamente. Este criterio prioriza robustez del sistema y mitigación anticipada del riesgo.

Fase 4. Formulación de acciones

Para los modos de falla estipulados como críticos, se proponen estrategias de mantenimiento particulares. Estas comprenden acciones tanto de mantenimiento como también operativas. Las acciones recomendadas se pueden catalogar como:

- Adición de actividades de mantenimiento preventivo.
- Aumento de frecuencia en actividades de mantenimiento presentes.
- Adición de actividades de mantenimiento predictivo.
- Adición de actividades de mantenimiento autónomo para operarios.
- Estandarización de variables de proceso.
- Formulación de actividades post-mantenimiento.
- Verificación técnica en puesta en servicio.

Fase 4. Simulación prospectiva

Se realizó un análisis de la base histórica identificando las fallas asociadas a los modos intervenidos. Bajo el supuesto de implementación efectiva de las acciones propuestas, dichas fallas fueron eliminadas de la base de datos para construir un escenario mejorado.

Con esta base ajustada se recalcularon los parámetros Weibull, indicadores de confiabilidad y métricas estadísticas, permitiendo comparar el escenario original con el escenario prospectivo y cuantificar el impacto potencial de las mejoras propuestas.



Resultados

La figura 2 muestra el ajuste de los datos reales a la distribución Weibull para los datos de falla de la máquina laminadora.

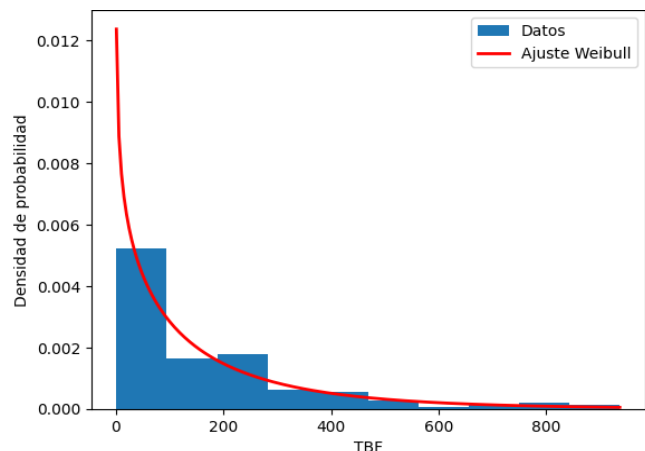


Fig 2. Ajuste Weibull a los datos TBF para la máquina general.

El estadístico Kolmogorov–Smirnov ($KS = 0.0540$) y el valor $p = 0.7489 (> 0.05)$ indican que no existe evidencia para rechazar el ajuste de los datos a una distribución Weibull. Asimismo, los bajos valores de MSE (0.0005) y RMSE ($\approx 2.2\%$) evidencian una diferencia mínima entre la CDF teórica y la empírica, validando que el modelo describe adecuadamente el comportamiento global de falla del equipo.

La figura 3 presenta la curva de confiabilidad $R(t)$ para la máquina a nivel global, modelada mediante la distribución Weibull, la cual refleja el comportamiento esperado del sistema bajo el ajuste estadístico realizado.

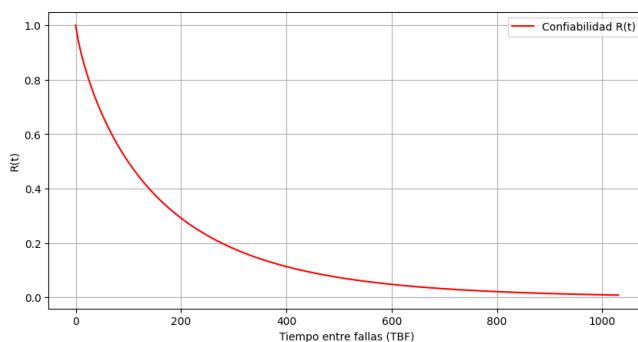


Fig 3. Función de confiabilidad – máquina general

Los resultados indican que, para un horizonte de 24 horas, la máquina presenta una confiabilidad de 0.8054, con una probabilidad de falla del 19.46 %. Sin embargo, al extender el periodo a 168 horas (una semana), la confiabilidad se reduce a 0.3438 y la probabilidad acumulada de falla aumenta a 65.61%, evidenciando una disminución significativa de la probabilidad de operación continua a medida que se incrementa el tiempo.

El MTBF calculado a partir de los datos reales (172.22 h) es consistente con el estimado con el modelo Weibull (172.74 h), evidenciando coherencia entre el comportamiento empírico y el modelado estadístico. Con un MTTR de 1.17 h, la disponibilidad de la máquina sería de 99.32 %.

En la figura 4, se muestra el ajuste de los datos reales a la distribución Weibull para los datos de falla del sistema aplicador (sistema crítico).

El ajuste Weibull para el sistema aplicador es estadísticamente aceptable, aunque con mayor dispersión que el modelo global. El estadístico $KS = 0.1541$ y el valor $p = 0.2959 (> 0.05)$ indican que no se rechaza el ajuste a Weibull. Los valores de $MSE = 0.0033$ y $RMSE \approx 5.8\%$ muestran un error moderado, pero aún bajo en términos prácticos, confirmando que el modelo describe adecuadamente el comportamiento de falla del sistema, con menor precisión que en el caso global.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia

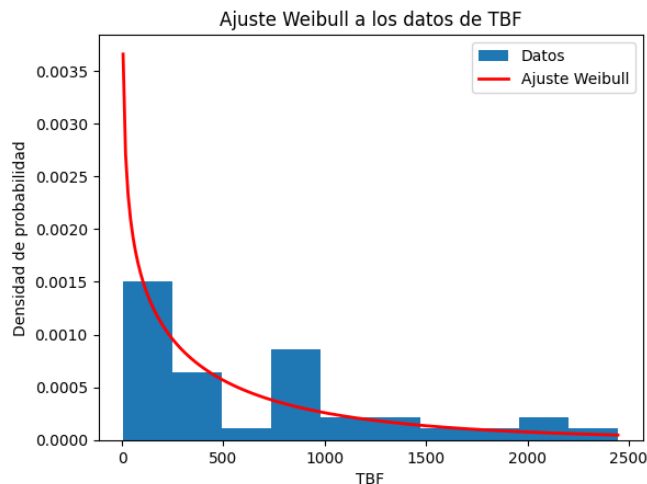


Fig 4. Ajuste Weibull a los datos TBF para el sistema aplicador.

La figura 5, muestra la función de confiabilidad $R(t)$ para el sistema modelado con distribución Weibull para el sistema aplicador.

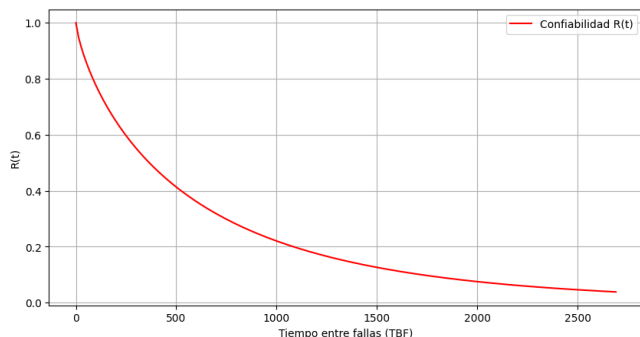


Fig 5. Función de confiabilidad – Aplicador

Para el sistema aplicador, la confiabilidad a 24 horas es de 0.9195, lo que implica una probabilidad de falla de 8.05 %, evidenciando un desempeño favorable en el corto plazo. A 168 horas, la confiabilidad disminuye a 0.6842 y la probabilidad acumulada de falla alcanza 31.57 %, mostrando una reducción progresiva del desempeño con el tiempo, aunque con un comportamiento más estable que el observado en el análisis global de la máquina.

El sistema aplicador presenta un MTBF real de 666.16 h, muy cercano al estimado mediante Weibull (680.16 h), lo que confirma la consistencia del modelo estadístico. Con un MTTR de 1.20 h, la disponibilidad operacional es del sistema crítico alcanza 99.82 %.

Interpretación de los parámetros Weibull

Los parámetros estimados para ambos conjuntos de datos presentan valores de β menores pero próximos a 1 ($\beta = 0.82$ para la máquina general y $\beta = 0.77$ para el sistema aplicador), lo que indica una tasa de falla ligeramente decreciente y un comportamiento predominantemente aleatorio, sin evidencia de desgaste progresivo [6], [10]

Esta condición es consistente con equipos en operación continua sometidos a mantenimiento preventivo semestral, donde pueden presentarse incrementos puntuales de fallas posteriores a intervenciones debido a ajustes, recalibraciones o variabilidad en el reensamble. Estos eventos generan una leve mortalidad infantil recurrente, manteniendo el parámetro β ligeramente inferior a la unidad, fenómeno asociado al reinicio parcial del ciclo de vida tras cada intervención [6], [10]

Dado que $\beta < 1$, y teniendo en cuenta lo anterior, las estrategias más efectivas no se orientan a reemplazos por edad, sino a la reducción de fallas tempranas mediante fortalecimiento de inspecciones posmantenimiento, verificación técnica en puesta en servicio, monitoreo por condición y análisis de causa raíz, con el fin de eliminar modos de falla prevenibles y estabilizar el desempeño confiable del sistema [10], [11]

A partir de este diagnóstico cuantitativo, se procedió a desarrollar un FMEA enfocado en el sistema crítico identificado, con el fin de traducir el comportamiento estadístico observado en acciones técnicas concretas orientadas a la reducción de modos de falla prevenibles.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



El análisis FMEA del sistema aplicador contempló un total de 38 modos de falla asociados a 88 causas potenciales. El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) presentó un rango entre 10 y 216, con un valor promedio de 56, lo que evidencia una dispersión significativa del riesgo dentro del sistema y la coexistencia de fallas de bajo impacto con eventos de alta criticidad. Un número considerable de modos superó el umbral de intervención establecido ($NPR > 60$), confirmando la necesidad de acciones estructuradas de mejora.

Es relevante señalar que la mayoría de los modos críticos se concentraron en el subsistema denominado R3, que se asocian a sobrecarga en el subsistema por distintas causas de falla, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad mecánica y funcional en esta sección del sistema aplicador, convirtiéndola en el principal foco de intervención para la mejora de la confiabilidad.

Con base en el FMEA, se definieron acciones correctivas sobre los modos más críticos (como se explicó en la metodología) con especial énfasis en el subsistema R3, orientadas a reducir la recurrencia de fallas y mejorar la estabilidad operativa. Con base en estas propuestas, se desarrolló posteriormente el análisis prospectivo para evaluar cuantitativamente el impacto potencial de las mejoras sobre la confiabilidad del activo.

La figura 6 y figura 7, muestran la comparación de la confiabilidad para la máquina general y para el sistema aplicador, respectivamente, en los datos originales respecto a los datos simulados luego de la implementación de las estrategias sugeridas en el FMEA.

La comparación entre el escenario original y el escenario mejorado evidencia un impacto positivo de las acciones derivadas del FMEA sobre la confiabilidad tanto para la máquina en general

como para el sistema aplicador, siendo en este el efecto considerablemente más significativo.

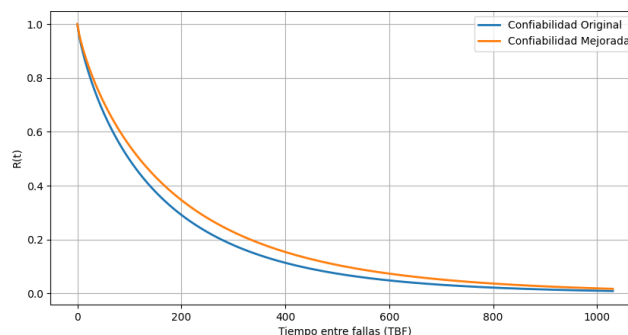


Fig 6. Comparación de la confiabilidad - Máquina

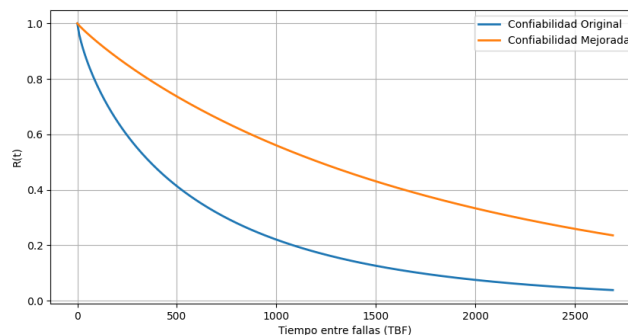


Fig 7. Comparación de confiabilidad - Aplicador

La Tabla 1 muestra una comparación cuantitativa de los parámetros de la distribución de Weibull y los indicadores KPI para los escenarios descritos.

A nivel global de la máquina, el parámetro β se mantiene en 0,82, indicando que el comportamiento de tasa de falla ligeramente decreciente no se modifica estructuralmente; sin embargo, el parámetro de escala η aumenta de 155,11 h a 186,55 h, reflejando una mejora en la vida característica. En consecuencia, el MTBF se incrementa de 172,74 h a 207,46 h y la disponibilidad operacional mejora de 99,33 % a 99,42 %. Asimismo, la confiabilidad a 24 h y 168 h presenta incrementos moderados, lo que confirma una mejora global del sistema completo.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Tabla 1. Tabla comparativa de resultados

	Máquina		Sistema Aplicador	
	Original	Mejorada	Original	Mejorada
β	0,82	0,82	0,78	0,92
η	155,11	186,55	586,51	1805,98
MTBF (h)	172,74	207,46	680,16	1875,07
Disponibilidad	99,33%	99,42%	99,82%	99,91%
R(24 h)	80,53%	83,08%	91,95%	98,16%
R(168 h)	34,38%	39,95%	68,42%	89,43%

Para el sistema aplicador, los efectos son evidentemente mayores. El parámetro β aumenta de 0,78 a 0,92, acercándose a un comportamiento de tasa de falla constante y reduciendo la influencia de fallas tempranas. El parámetro η muestra un incremento notorio (586,51 h a 1805,98 h), lo que se traduce en un aumento del MTBF de 680,16 h a 1875,07 h. La disponibilidad pasa de 99,82 % a 99,91 %, mientras que la confiabilidad a 168 h se incrementa de 68,42 % a 89,43 %. Los resultados evidencian que las acciones enfocadas generan un impacto relevante en su desempeño confiable.

Conclusiones

El presente caso de estudio demostró la aplicabilidad práctica de un enfoque integrado para la gestión de la confiabilidad en un activo industrial crítico del sector de empaques flexibles. A partir del análisis histórico de fallas, el modelamiento estadístico de Weibull y el uso de FMEA, fue posible diagnosticar el comportamiento real de la máquina y sistemas, identificar subsistemas vulnerables y plantear acciones técnicamente justificadas. La posterior validación mediante simulación permitió cuantificar el impacto de dichas intervenciones, consolidando una metodología reproducible que articula análisis de datos, criterio ingenieril y toma de decisiones estratégicas en mantenimiento.

Los resultados demuestran que las intervenciones focalizadas en el sistema crítico de la máquina producen mejoras sustanciales en la vida característica, el MTBF y la confiabilidad en horizontes operativos relevantes, validando la pertinencia del enfoque integrado propuesto.

Los resultados cuantitativos evidencian que las mejoras propuestas no solo incrementan indicadores operativos como MTBF y disponibilidad, sino que modifican el comportamiento estadístico del sistema crítico, acercando el parámetro β a una condición de mayor estabilidad y aumentando significativamente la vida característica η .

El estudio confirma que la combinación de análisis estadístico y priorización cualitativa, complementada con simulación prospectiva, constituye una herramienta robusta para la toma de decisiones en mantenimiento industrial.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Referencias

- [1] MORCHEM, *Problemas y Soluciones en Laminación*. 2016.
- [2] S. Farris, "Main Manufacturing Processes Food Packaging Materials," in *Reference Module in Food Science*, 2016.
- [3] J. Huang, J.-X. You, H.-C. Liu, and M.-S. Song, "Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 199, 2020.
- [4] H. Garg and M. Ram, "Reliability Management and Engineering: Challenges and Future Trends," *CRC Press*, 2020.
- [5] R. Mobley, *Maintenance Engineering Handbook*, 8th ed. McGraw-Hill., 2014.
- [6] J. McCool, *Using the Weibull Distribution cover image Using the Weibull Distribution: Reliability, Modeling, and Inference*. McCool (Ed.), 2012.
- [7] T. O. Alamri and J. P. T. Mo, "Optimisation of Preventive Maintenance Regime Based on Failure Mode System Modelling Considering Reliability," *Arab. J. Sci. Eng.*, pp. 3455–3477, Mar. 2023.
- [8] J. Mesarosova *et al.*, "Improving the level of predictive maintenance maturity matrix in industrial enterprise," *Acta Logistica*, vol. 9, pp. 183–193, Jun. 2022.
- [9] S. Kumar, T. Bhatkulkar, and P. Kane, "FMEA and FTA of coal handling system of power plant," *Mater. Today Proc.*, vol. 90, pp. 197–200, Jan. 2023.
- [10] H. Bazargan, *Reliability Engineering Theory and Practice*. 2023.
- [11] M. Conti and S. Orcioni, "Modeling of failure probability for reliability and component reuse of electric and electronic equipment," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 11, Jun. 2020, doi: 10.3390/en13112843.

Ronald Camilo Burbano Ortega

Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional de Colombia. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Mecánica con profundización en mantenimiento en la misma universidad.

Miembro activo del grupo de investigación en mantenimiento GOMAC de la Universidad Nacional de Colombia, donde participa en proyectos relacionados con optimización de mantenimiento industrial y confiabilidad.

Correo: rcburbanoo@unal.edu.co

Cel: +57 3189049533

Dirección: Cra 56A #61-24 Medellín, Colombia

Fernando Jesús Guevara Carazas PhD.

Profesor e investigador de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero mecánico. Lider del grupo de investigación GOMAC (Gestión, Operación y Mantenimiento de Activos) de la UNAL

Correo: fjguevarac@unal.edu.co

Cel: +573148582415

Dirección: Cll 59A # 63 – 20 Medellín, Colombia

Carmen Elena Patiño

Ingeniera Industrial, Universidad Nacional de Colombia, MSc y Phd en Ingeniería, Universidade de Sao Paulo, Profesora Titular Universidad de Antioquia. Sus intereses están en el desarrollo de modelo de analítica para el mejoramiento de procesos desde el análisis de falla.

Correo: elena.patino@udea.edu.co

Dirección: Calle 67 No. 53 – 108 Medellín, Colombia