


Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para los equipos de una línea de extrusión de polietileno en una empresa de tuberías plásticas¹

Design of a Preventive Maintenance System for Polyethylene Extrusion Line Equipment in a Plastic Piping Company

Rosa V. Molina-Márquez

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Postgrado e Investigación, Doctorado en Economía, Gestión y Política.
Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0009-0002-9954-5467> | Correo electrónico: rosavmolinam@gmail.com

Recibido: 22-11-2025 Admitido: 01-12-2025 Aprobado: 04-12-2025

DOI:

Resumen

La competitividad en la extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) demandó una disponibilidad de equipos operativos superior al 85 %. No obstante, la línea de extrusión B-75 en una empresa de tuberías plásticas laboró bajo un patrón de mantenimiento correctivo; esta situación provocó paradas no planificadas y, en consecuencia, pérdidas operacionales, económicas y de credibilidad. En virtud de lo anterior, la investigación tuvo como propósito el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para dicha línea. Metodológicamente, el estudio se enmarcó como un proyecto factible, con un diseño de campo y descriptivo, sobre una muestra de catorce equipos críticos. Para ello, se aplicó un diagnóstico inicial, al cual siguió un análisis de criticidad y la estandarización conforme a la Norma COVENIN 3049-93. Entre los principales hallazgos se evidenció la inexistencia de un sistema de mantenimiento preventivo; este hecho se tradujo en 182 horas de inactividad no planificada. Como parte de las soluciones, la propuesta incluyó la realización de inventarios, una matriz de análisis de criticidad, rutinas de inspección y la programación de las labores preventivas. Finalmente, se proyectó que, mediante la ejecución de esta propuesta, disminuyan las fallas y se efectúe la transición de un modelo reactivo hacia una gestión proactiva, eficiente y fiable para la producción.

Palabras Clave: Mantenimiento preventivo, Línea de extrusión, Gestión de activos, Fiabilidad del equipo, Disponibilidad

Abstract

Competitiveness in high-density polyethylene (HDPE) extrusion demanded an operational equipment availability exceeding 85%. However, the B-75 extrusion line in a plastic piping company operated under a corrective maintenance pattern; this situation caused unplanned downtime and, consequently, operational, economic, and credibility losses. In view of the above, the research aimed to design a preventive maintenance system for said line. Methodologically, the study was framed as a feasible project, with a field and descriptive design, based on a sample of fourteen critical pieces of equipment. To this end, an initial diagnosis was applied, followed by a criticality analysis and standardization in accordance with the COVENIN 3049-93 Standard. Among the main findings, the lack of a preventive maintenance system was evidenced; this fact resulted in 182 hours of unplanned downtime. As part of the solutions, the proposal included the development of inventories, a criticality analysis matrix, inspection routines, and the scheduling of preventive tasks. Finally, it was projected that, through the implementation of this proposal, failures would decrease and a transition from a reactive model toward proactive, efficient, and reliable production management would be achieved.

Keywords: Preventive maintenance, Extrusion, Asset management, Equipment reliability, Availability.

¹Artículo adaptado de la ponencia presentada en la II Jornada de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, 2025.

Introducción

Según Nastaj y Wilczyński [1], la manera eficiente de armonizar el uso de recursos humanos, materiales, técnicos, temporales y financieros incide en el desarrollo de los procesos administrativos y operativos, así como en la calidad de los productos y servicios que ofrecen las organizaciones al mercado. En este orden de ideas, la extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) requiere una disponibilidad superior al 85 % para ser competitiva.

Para Hernández [2], este sector en Venezuela notifica paradas anuales no programadas que suscitan pérdidas significativas. Por esta razón, la implementación de sistemas de mantenimiento preventivo demuestra eficacia en la reducción de estas paradas en América Latina, con un impacto estimado entre el 30 % y el 40 %.

Es conveniente puntualizar que las organizaciones cuya razón social radica en la producción y prestación de servicios necesitan herramientas que impulsen la competitividad. Los sistemas de mantenimiento añaden elementos que permiten la incorporación de diversos ciclos o etapas de procesos clave, lo cual impulsa operaciones que se desarrollan de manera continua, armónica y orientada al éxito.

Dentro de este contexto, la inestabilidad que evidencian los factores políticos y de mercado propicia que las empresas nacionales, medianas y pequeñas, refuercen sus herramientas e instrumentos administrativos. Esto lleva a la búsqueda de técnicas y métodos orientados a la gestión gerencial, supervisión, control e incremento en el desempeño eficaz de sus funciones. Asimismo, las empresas productoras y de servicios operan en entornos competitivos cuyas circunstancias influyen en la ejecución de los procesos; este escenario incide en la recuperación del capital y en la disminución de los costos.

En ese escenario se ubica la empresa REVINCA, C.A., la cual opera con una línea de extrusión B-75 integrada por 14 equipos críticos: 4 bañeras de vacío/aspersión, arrastre, marcador, sierra y 2 bobinadores. En dicha organización se registran 63 paradas no planificadas con un acumulado de 182 horas; este hecho provoca sobrecostos no estipulados que se destinan a reparaciones correctivas. Por ello, la ausencia de un sistema de mantenimiento preventivo causa pérdidas considerables y la acumulación de un registro histórico de poca fiabilidad. Con base en el planteamiento expuesto, se formula como propósito de la investigación el diseño del sistema de mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de extrusión B-75 de la empresa REVINCA, C.A.

La implementación de este sistema no puede ofrecerse de forma improvisada, sino que debe conformar las acciones estratégicas de la organización. Estas engloban factores económicos proyectados a la reducción de costos de mantenimiento y de parada, el incremento de la disponibilidad operativa y la alineación con las normas COVENIN 3049-93 [3] e ISO 55000 [4]. El desconocimiento de las fallas en los equipos limita la capacidad de acción y el establecimiento de un mantenimiento proactivo en las instalaciones, pues evidencia una gestión no consolidada ni cuantificada. En virtud de lo anterior, la investigación tiene como propósito diseñar un sistema de mantenimiento preventivo para la línea de extrusión B-75 de REVINCA, C.A. mediante el enfoque de criticidad RAM (*Reliability, Availability, Maintainability*).

Fundamentación teórica

Según Duffuaa *et al.*, [5], el mantenimiento se define como la combinación de todas las acciones técnicas y acciones asociadas mediante las cuales un equipo o un sistema se conserva o repara para que pueda realizar sus funciones específicas. Para Torres [6], su importancia radica en alcanzar el máximo nivel de efectividad productiva, asumiendo el menor costo y contaminación posibles. Newbrough [7], por su parte, complementa esta visión señalando que maximizar la disponibilidad de la maquinaria es esencial para la resiliencia económica de las organizaciones, pues minimiza el deterioro y preserva el valor de los activos.

Históricamente, la gestión del mantenimiento en la industria manufacturera ha evolucionado de los enfoques correctivos a la aplicación de estrategias preventivas centradas en la reducción de los fallos mediante intervenciones programadas. Este cambio obedece a la necesidad de evitar paradas y evitar costos adicionales, así como riesgos operativos mayores. Como parte de una transición natural, el mantenimiento se ha encaminado

hacia la predicción y al análisis de las condiciones, las cuales incorporan evaluación de datos, monitoreo de variables críticas, anticipación de fallos, entre otros aspectos. En este escenario, el mantenimiento preventivo proporciona la estructura necesaria para mejorar la gestión de activos, especialmente en las industrias de extrusión de polímeros, pues se encarga de garantizar que los equipos conserven su capacidad operativa para ejecutar funciones específicas.

Según la norma COVENIN 3049, su objetivo radica en conservar un sistema productivo en forma adecuada, de manera que pueda cumplir su misión, logrando la producción esperada en empresas productivas, con la calidad de servicios exigida a escala global. Esta evolución permite transitar de la reparación de emergencia a una conservación que contrarreste las causas conocidas de fallas mediante tareas programadas [5].

Más allá de la planificación, la gestión moderna se apoya en indicadores de desempeño (KPIs), elementales para los sistemas de mantenimiento preventivo, como la disponibilidad, el *Overall Equipment Effectiveness*, el Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio Entre Reparación (MTTR). El MTBF es crítico para estimar la fiabilidad y determinar los intervalos óptimos de intervención, trascendiendo su función como métrica aislada, mientras que el MTTR refleja la capacidad del sistema de mantenimiento de reestablecer las operaciones en el menor tiempo posible, constituyéndose en soportes esenciales de la gestión de activos de la ISO 55000.

Esta norma internacional exige que las organizaciones tomen sus decisiones en datos fiables para maximizar el valor de sus activos; en consecuencia, el MTBF y el MTTR proporcionan la base cuantitativa necesaria para evaluar el desempeño y el riesgo. Al monitorear estos indicadores, el sistema de mantenimiento preventivo se alinea con los objetivos de mejora continua de la norma, transformando los datos históricos de paradas en la línea B-75 en información estratégica para optimizar el ciclo de vida del equipo y garantizar la sostenibilidad operativa [1].

En este orden de ideas, la criticidad de los equipos puede ser determinado mediante el análisis de fallas o el mantenimiento enfocado en la confiabilidad [5]. Para Rausand y Hoyland [8], en el caso de extrusoras de PEAD, los subsistemas suelen ser críticos, pues su desgaste de cabezal genera obstrucción y averías en el sistema de temperatura, por lo que el mantenimiento puede modelarse mediante la distribución de *Weibull* para estimar el término entre fallas y el tiempo promedio entre reparaciones.,

Por su parte, McKinsey y Company [9], el mantenimiento preventivo se utiliza en sensores, con la finalidad de monitorear posibles vibraciones, fallos eléctricos, cambios de temperatura en tiempo real, reduciendo los costos significativamente. La solidez de un sistema preventivo es el requisito técnico para escalar hacia tecnologías de monitoreo. Para extrusoras, señala Mobley [10], la espectroscopía de vibración detecta los desgastes en rodamientos de tornillo, mientras que termografía se encuentra en la capacidad de identificar aquellas zonas de sobrecalentamiento en bandas calefactoras.

En la perspectiva de Torres [6], para lograr esto urge la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas, programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.

Del mismo modo, que este tipo de mantenimiento coincide con la conservación planeada de fábrica, lo que conduce a inspecciones periódicas que descubran las condiciones defectuosas [7]. Por ende, entre sus beneficios se destacan menor tiempo perdido como resultado de menos paradas de maquinaria; mayor conservación y duración de los bienes; menor costo por conceptos de horas extraordinarias de trabajo; menos reparaciones en gran escala, pues son prevenidas mediante reparaciones oportunas y de rutina; menor costo por concepto de arreglos; menor ocurrencia de desperdicios; mayor identificación de los equipos que originan gastos; mejores condiciones de seguridad.

Metodología

El estudio se desarrolló bajo la modalidad de proyecto factible, puesto que propone una solución operativa a un problema de ingeniería industrial tangible, como la falta de planificación en las labores de mantenimiento de la línea de extrusión en la empresa REVINCA, C.A. Su diseño fue de campo, lo cual permitió la recolección de datos directos; estos se complementaron con la revisión documental para el análisis de contenido y de las normas vigentes.

En cuanto a su nivel, la investigación es descriptiva, pues caracteriza el estado actual de los equipos y de sus subsistemas críticos. La unidad de análisis se centró en el área de producción de la empresa, con una muestra censal constituida por la línea de extrusión B-75, la cual integra catorce (14) equipos críticos: la extrusora principal, el co-extrusor, 4 bañeras de vacío/aspersión, sistemas de arrastre, sierra y dos (2) bobinadores. Para la obtención de la información técnica, se aplicó la observación directa y un instrumento de diagnóstico de la gestión del mantenimiento.

En virtud de lo anterior, el estudio contempló las siguientes etapas: diagnóstico situacional, inventario y codificación de equipos, análisis de criticidad (Enfoque RAM) y diseño del sistema de mantenimiento preventivo. Adicionalmente, se establecieron acciones específicas y los mecanismos de intervención necesarios. Finalmente, el proceso concluyó con el diseño de los formatos requeridos para la gestión del sistema.

Resultados y Discusión

Diagnóstico y análisis de criticidad

El diagnóstico realizado en la línea de extrusión B-75 de REVINCA, C.A reveló la inexistencia de un sistema de mantenimiento preventivo formal. Esto se traduce en una gestión predominantemente reactiva, cuyos efectos se evidenciaron con 63 paradas no planificadas y un acumulado de 182 horas de inactividad durante el período evaluado, lo cual confirma que la prevalencia del mantenimiento correctivo afecta la disponibilidad y genera sobrecostos operativos, con una pérdida acentuada de la capacidad de producción, dejando a la empresa fuera de las métricas de competitividad requerida (>85%).

Desde un enfoque técnico, este escenario sitúa la disponibilidad de la línea por debajo del 85%, el estándar mínimo de competitividad para los procesos de extrusión de PEAD. La recurrencia de estas fallas compromete la capacidad de producción y genera sobrecostos operativos que validan la urgencia de transitar hacia un modelo preventivo alineado con la norma COVENIN 3049-93 [3].

Tabla 1. Resumen de diagnóstico operativo y criticidad de la Línea B-75

Variable de Control	Hallazgo	Impacto Técnico
Fallas registradas	63 paradas no planificadas	Alta tasa de fallas por gestión reactiva
Tiempo de inactividad	182 horas acumuladas	Lucro cesante y sobrecostos operativos
Disponibilidad actual	< 85%	Incumplimiento de estándares de competitividad internacional
Configuración de línea	Sistema seriado	La falla de un componente detiene el proceso total.
Equipos críticos	14 unidades codificadas	Base censal para el sistema preventivo.
Normativa de base	COVENIN 3049-93	Soporte legal y técnico de la gestión.

La estructuración del sistema se sustentó en la normalización técnica de los activos de la línea de extrusión B-75. Siguiendo los lineamientos de la norma COVENIN 3049-93 [3], se ejecutó una codificación jerárquica

para identificar de forma unívoca cada componente y plantear la relación que tiene con los subsistemas que componen el equipo principal.

Esta base de datos técnicas, constituye el soporte informativo para la trazabilidad operativa. El análisis reveló que la línea opera como un sistema seriado, lo que implica que la criticidad es inherente a casi todos los componentes, puesto que la falla de un subsistema periférico detiene el flujo productivo total. Así, la falla de un subsistema, como el cabezal o las bandas calefactoras, puede provocar la interrupción total del flujo. Para Duffuaa *et al.*, [5], la criticidad de estos sistemas no se ve limitado solo por el costo de la reparación, sino que se define por el lucro cesante de la indisponibilidad del proceso.

Por esta razón, el diseño operativo se centró en la estandarización de las acciones de mantenimiento, siguiendo una matriz de programación técnica. En lugar de planes aislados, se diseñó una propuesta metodológica que agrupa las distintas actividades en función de su frecuencia y del estado requerido del equipo, lo que facilita la optimización de los recursos humanos y técnicos de REVINCA.

Dicha agrupación conduce a una gestión eficiente de las rutinas, a la vez que reduce la complejidad de los procesos administrativos de mantenimiento. Por ende, es necesario la aplicación RAM para validar qué componentes técnicos necesitan del monitoreo predictivo para evitar degradaciones futuras.

Diseño del sistema de mantenimiento propuesto

El diseño se fundamentó en la normalización técnica y la jerarquización de los activos, por lo cual se centró en la estandarización de acciones inmediatas a través de una matriz de programación técnica que contiene las actividades por frecuencia y estado del equipo, según se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz de Programación Técnica

Código de activo	Subsistema crítico	Estado requerido	Frecuencia	Actividad estándar	Duración (min)	Responsable
EX-B75-01	Tornillo extrusor	Parado	Semanal	Lubricación	30	Mecánico
CO-B75-02	Resistencias térmicas	Operando	Mensual	Termografía	45	Electricista
BA-B75-03	Sistema de vacío	Parado	Quincenal	Limpieza de boquillas	60	Operario

La asignación de frecuencias presentada en la Tabla 2 responde a una alineación entre las recomendaciones técnicas del fabricante y las estadísticas históricas de falla detectadas en la línea B-75 Asimismo, para garantizar la ejecución, se diseñaron instrumentos de control y órdenes de trabajo preventivo, conforme a lo presentado en la Tabla 3.

Tabla 3. Instrumentos de Control y Órdenes de Trabajo Preventivo

Campo del instrumento	Finalidad técnica	Fuente de datos	Frecuencia de uso
Código de orden de trabajo	Trazabilidad única	Sistema interno	Por cada actividad
Descripción de la actividad	Estandarización de tareas	Manual técnico	Por cada actividad
Estado inicial del equipo	Detección de desviaciones	Inspección visual	Durante la ejecución
Firma del responsable	Responsabilidad técnica y legal	Ejecutor	Al cierre de la OT
Cierre de la orden	Registro de cumplimiento y anomalías	Ejecutor y supervisor	Post-ejecución

Los instrumentos de control diseñados en esta tabla, transforman la orden de trabajo en una herramienta de recolección de datos en campo, permitiendo documentar la condición inicial del activo (*Adec/Inad*) para alimentar el ciclo de mejora continua. Por ende, esta herramienta no pretende ser un formato administrativo más, sino un instrumento de recolección de datos falible en el campo de trabajo.

Se precisa, en consecuencia, de un registro detallado de repuestos, tiempos de ejecución y personal asignado, cuyos campos técnicos se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Campos Técnicos de Registro, Tiempos y Personal Asignado

Campo técnico	Unidad de medida	Uso en análisis de confiabilidad	Relación con ISO 55000
Repuesto utilizado	Código interno	Cálculo de MTBF y MTRR	Activos – ciclo de vida
Tiempo de ejecución real	Minutos	Ajuste de frecuencia preventiva	Mejora continua
Personal asignado	Especialidad	Análisis de capacidad técnica	Gestión de recursos
Fecha de ejecución	DD/MM/AAAA	Tendencia temporal de fallas	Datos para decisión
Desviación detectada	Texto breve	Entrada a matriz de riesgo	Evaluación de desempeño

Este enfoque permite ajustar dinámicamente las frecuencias de mantenimiento, cerrando el ciclo de mejora continua que exige la norma ISO 55000 [4], transformando el mantenimiento de un gasto necesario en una inversión estratégica para la disponibilidad de la planta. De igual forma, este diseño aborda la vulnerabilidad crítica identificada en la fase de diagnóstico, como lo fue la dependencia a una gestión reactiva, cuyo resultante fue unas 182 horas de inactividad.

Al pasar a una programación técnica basada en la norma COVENIN 3049-93 [3], se da un paso de la improvisación a la aplicación de una intervención programada, cíclica y estructural. Esto se alinea a la teoría de gestión de activos de la norma ISO 55000 [4], al trascender de la mera recolección de datos en el campo y encaminarse hacia estrategias basadas en la información, con la finalidad de realizar cálculos de indicadores de confiabilidad, como el Tiempo Medio Entre Fallas.

Así, el diseño cumple una función operativa, pero de forma más significativa, actúa como una base para consolidar las labores de mantenimiento en REVINCA, C.A., permitiendo una eventual integración de nuevas tecnologías para el monitoreo predictivo, Con ello se proyecta una mejora sustancial en la eficiencia operativa, estimando la reducción de las paradas no planificadas, elevando la disponibilidad de la línea B-75 por encima del estándar de competitividad del 85%, convirtiéndose en un referente regional, nacional e internacional.

El sistema de mantenimiento preventivo propuesto no debe considerarse como estático o limitativo, sino como una base para la evolución hacia un mantenimiento de mayor madurez tecnológica. La estandarización de rutinas, la codificación de equipos, el registro de tiempos, fallas y repuestos, son requisitos técnicos para la incorporación progresiva de otro tipo de herramientas, como la termografía infrarroja o el monitoreo en tiempo real, lo que va más allá de la prevención tradicional, avanzando hacia la toma de decisiones soportada en datos, haciendo más eficiente el mantenimiento como práctica sostenible.

Finalmente, es preciso destacar que el sistema de mantenimiento preventivo diseñado no constituye el fin de la empresa REVINCA C.A., sino el sustento para evolucionar hacia nuevas estrategias de mantenimiento proactivo cada vez más complejos. En este orden de ideas, consolidar este sistema permitirá que se pueda avanzar hacia el mantenimiento predictivo, apoyado en herramientas como la termografía, con el propósito de identificar el sobrecalentamiento de bandas calefactoras y los desgastes prematuros en los rodamientos del tornillo extrusor. Este progreso, en compañía de la digitalización de la actividad industrial, conduce a una

programación basada en la condición real del equipo, superando la programación temporal, optimizando los intervalos de mantenimiento, garantizando la disponibilidad operativa a los niveles requeridos.

Conclusiones

El diagnóstico operativo reveló que la gestión y la ingeniería de mantenimiento actual, enfocada en la corrección de fallas, suscita vulnerabilidades críticas que afectan la capacidad productiva. La acumulación de 63 paradas no planificadas confirma la ausencia de previsión de riesgos; este hecho representa un problema económico, técnico y de credibilidad que aleja a la línea B-75 de los estándares internacionales de disponibilidad (>85 %) requeridos por el sector plástico.

A través de la aplicación de la Norma COVENIN 3049-93, se logró el inventario técnico y la identificación de catorce (14) equipos con sus respectivos subsistemas. Esta codificación constituye el fundamento para la trazabilidad de las fallas y el cálculo futuro de los indicadores de confiabilidad. El análisis dejó al descubierto que la línea opera bajo una dependencia en serie, donde la totalidad de los componentes son críticos para el proceso de extrusión; en consecuencia, cualquier avería afecta el flujo total.

Por lo tanto, el diseño del sistema preventivo no se limitó a la extrusora principal, sino que integró rutinas sincronizadas para todos los equipos periféricos con el fin de minimizar riesgos y cuellos de botella. La propuesta comprende matrices de programación anual y rutinas de inspección que permiten la estandarización de la empresa mediante intervenciones oportunas; esto facilita la transición de la evidencia empírica hacia el conocimiento científico transferible. El modelo ofrece a REVINCA, C.A. la posibilidad de migrar hacia una planificación preventiva que anticipe el desgaste de componentes vitales, reduzca costos por reparaciones y maximice la vida de los recursos.

En miras de mantener la eficiencia operativa y dar cumplimiento al sistema propuesto, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Informar al departamento de mantenimiento de la empresa los datos encontrados para que de esta manera conozcan la situación detectada y se puedan generar las acciones pertinentes, de igual forma aplicar estos instrumentos en otros estudios con el objeto de potenciar su capacidad en otros trabajos u otros tipos de investigación.
- Ejecutar el sistema propuesto a los equipos que conforman la Línea de Extrusión B-75 para incrementar la productividad.
- Sensibilizar al personal en lo que corresponde a la aplicación del sistema de mantenimiento preventivo.
- Aplicar normas de mantenimiento tales como COVENIN 3049-93.
- Crear un departamento de mantenimiento autónomo e independiente del departamento de operaciones que coordine, controle y elabore toda la gestión de mantenimiento.
- Diseñar el sistema de mantenimiento preventivo basado en los formatos de trabajo propuestos por los investigadores para realizar las actividades de organización, planificación, programación, control y ejecución del mantenimiento, con los cuales pueden establecer los registros históricos de la línea, tanto de reparación, mantenimiento y costos aplicados, donde la administración pueda establecer el control de los costos de operaciones de los demás departamentos, según las normas venezolanas.
- Evaluar periódicamente la gestión de mantenimiento con el objeto de detectar anomalías y deficiencias en las operaciones de trabajo y del mantenimiento.
- Mantener actualizada la documentación de los registros históricos del control de mantenimiento.
- Crear indicadores de gestión para la verificación y control de las actividades desarrolladas en el departamento de mantenimiento según las especificaciones establecidas por la empresa y las normas del país.

Finalmente, la fortaleza de esta investigación radica en la integración del diagnóstico con el diseño de herramientas bajo las normas COVENIN 3049-93 e ISO 55000, lo cual valida la propuesta como una solución aplicable para la mitigación de fallas críticas.

Referencias bibliográficas

- [1] A. Nastaj y K. Wilczyński, “Optimization and Scale-Up for Polymer Extrusion”, *Polymers*, vol. 13, no. 10, p. 1547, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym13101547>.
- [2] I. Hernández, Z. Castillo, A. Zapata y C. Alcalá, “Identificación y Reducción de Tiempos Muertos como Estrategia de Productividad en la Industria Metal-Mecánica”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 5, pp. 12743-12753, 2024. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i5.14726.
- [3] Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Mantenimiento. Definiciones. COVENIN 3049-93. Caracas, Venezuela, 1993.
- [4] International Organization for Standardization (ISO), Asset management – Overview, principles and terminology, Norma ISO 55000:2014, Ginebra, Suiza, 2014.
- [5] S. Duffuaa, A. Raouf y J. Dixon, *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*, Ciudad de México, México: Editorial LIMUSA, S.A., 2000.
- [6] L. Torres, *Mantenimiento su Implementación y Gestión*, Caracas, Venezuela: Editorial Universitas, 2005.
- [7] E. Newbrough, *Administración del Mantenimiento Industrial*, Ciudad de México, México: Editorial Diana, 1998.
- [8] M. Rausand y A. Høyland, *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*, New Jersey, Estados Unidos: Editorial John Wiley & Sons, 2004.
- [9] McKinsey & Company. (2021). Una forma más inteligente de digitalizar el mantenimiento y la fiabilidad [En línea]. Disponible en: [https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/a-smarter-way-to-digitize-maintenance-and-reliability#/.](https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/a-smarter-way-to-digitize-maintenance-and-reliability#/)
- [10] R. K. Mobley, *Maintenance Fundamentals*, 2nd ed. Amsterdam, Países Bajos: Butterworth-Heinemann, 2004.