



RESEARCH ARTICLE

Implementación de un centro de mantenimiento para motores eléctricos con IA en la ciudad de Riobamba.

Morocho-Amaguaya, Manuel ¹  Naula-Barros, Myriam Paulina ¹  Simbaña-Lluglluna, Juan Fernando ¹ 

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC 060104, Riobamba, Ecuador

✉ Correspondencia: mmorocho_a@esPOCH.edu.ec 📞 + 593 96 928 5431

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj92336>

Resumen: En Riobamba, las industrias dependen de motores eléctricos para sus procesos productivos; no obstante, la ausencia de un centro especializado en mantenimiento predictivo con inteligencia artificial ocasiona problemas operativos significativos. Ante esto, se propuso implementar un centro de mantenimiento para motores eléctricos con IA, enfocado en diagnóstico predictivo, mantenimiento preventivo y correctivo, capacitación y asistencia técnica. El estudio adoptó un enfoque mixto con alcance descriptivo y prospectivo; se encuestó a 47 empresas de un universo de 92 industrias, apoyándose en regresión lineal para proyectar demanda y oferta, análisis de localización y evaluación financiera a cinco años. Los hallazgos muestran que el 57,5 % de las empresas practica mantenimiento correctivo, el 55,3 % desconoce el mantenimiento predictivo con IA, y la demanda insatisfecha asciende a 756 motores en 2025, con proyección de 1.188 para 2029. El sistema diagnóstico combina cinco parámetros, sensores IoT y machine learning para anticipar fallas con 2 a 6 semanas de anticipación. En términos financieros, el proyecto registra un VAN de \$243.755, TIR del 50,2 % y relación B/C de 1,33, recuperando la inversión en 2 años y 5 meses. El centro resulta viable, rentable y sostenible, siendo la primera iniciativa de este tipo en Chimborazo..

Palabras claves: mantenimiento predictivo; motores eléctricos; inteligencia artificial; IoT; Riobamba.

Establishment of an AI-powered electric motor maintenance center in the city of Riobamba.

Abstract: In Riobamba, industries depend on electric motors for their productive processes; however, the absence of a specialized center for predictive maintenance with artificial intelligence causes significant operational problems. In response, the implementation of an AI-powered electric motor maintenance center was proposed, focused on predictive diagnostics, preventive and corrective maintenance, training, and technical assistance. The study adopted a mixed-methods approach with a descriptive and prospective scope; 47 companies were surveyed from a universe of 92 industries, supported by linear regression to



Check for updates

Cita: Morocho-Amaguaya, M., Naula-Barros, M. P., & Simbaña-Lluglluna, J. F. (2026). Implementación de un centro de mantenimiento para motores eléctricos con IA en la ciudad de Riobamba. Green World Journal, 09(02), 336. <https://doi.org/10.53313/gwj92336>

Received: 15/Abril /2026
Accepted: 03/Mayo /2026
Published: 16/Mayo /2026

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2026 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

project supply and demand, location analysis, and a five-year financial evaluation. The findings show that 57.5% of companies practice corrective maintenance, 55.3% are unfamiliar with AI-based predictive maintenance, and unmet demand reaches 756 motors in 2025, projected to grow to 1,188 by 2029. The diagnostic system combines five parameters, IoT sensors, and machine learning algorithms to anticipate failures 2 to 6 weeks in advance. Financially, the project records a NPV of \$243,755, an IRR of 50.2%, and a B/C ratio of 1.33, recovering the investment in 2 years and 5 months. The center proves to be viable, profitable, and sustainable, standing as the first initiative of its kind in Chimborazo province.

Keywords: predictive maintenance; electric motors; artificial intelligence; industrial IoT; economic feasibility.

1. Introducción

Los motores eléctricos son el principal sistema de impulso de la industria moderna, representando más del 70% del consumo total de energía industrial global (1). En la ciudad de Riobamba, muchas empresas y talleres dependen de estos dispositivos para sus procesos de producción, sin embargo, la falta de un servicio especializado para el mantenimiento predictivo y diagnóstico conduce a fallos inesperados, aumento de costos operativos y pérdida de productividad, cabe señalar que la ausencia de tales centros técnicos avanzados representa una brecha crítica que limita la competitividad del sector industrial de Chimborazo.

Por otra parte, en línea con Bueno (2), quien estima que un predominio del mantenimiento correctivo genera costos evitables de hasta un 40% más que una estrategia de mantenimiento predictivo, de este modo, el diagnóstico técnico oportuno se convierte en una necesidad urgente en el sistema productivo local.

Además, es importante mencionar que el mantenimiento predictivo impulsado por inteligencia artificial (IA) es uno de los componentes clave de la Industria 4.0. Predicciones precisas sobre fallos son posibles mediante el análisis de parámetros como vibraciones, temperatura y firmeza de corriente, utilizando algoritmos de machine learning y redes neuronales (3). El sistema SIDMA creado por el Instituto de Energía Tecnológica de España, demuestra que la automatización del diagnóstico por IA de motores asíncronos aumenta la vida útil de los equipos y reduce el desperdicio por el cambio prematuro de piezas (4)

La combinación del IIoT (por sus siglas en inglés) y el análisis de datos en la nube han cambiado la forma de gestionar el mantenimiento. Los sensores IIoT ubicados en equipos vitales hacen el seguimiento de parámetros de temperatura, vibraciones y energía y transmiten a la nube, y su información es procesada por la IA para hacer diagnósticos. Mallioris et al. (5) las compañías que han incorporado IIoT y que realizan mantenimiento predictivo con IA, han logrado reducir el downtime en 50 % y el costo del mantenimiento entre 10 % y 40 %. Esto hace más que justificada la inversión en tecnología.

Del mismo modo, el centro especializado ubicado en Riobamba permite ofrecer soluciones a problemas existentes en la localización, a finales de 2025, con un mínimo de 756 motores, la localización continuará teniendo problemas al no contar con un centro de atención técnica, a la fecha, la demanda de atención técnica sigue aumentando con 108 motores al año. A la fecha, el 89.4% de la muestra demanda motores con atención técnica mediante IA y el 95.7% demanda motores con atención técnica que no les genere pérdidas en su producción, estos datos justifican la propuesta desde la perspectiva de la industria de la provincia de Chimborazo y de la atención técnica.

Por todo ello, la presente investigación tiene como propósito la implementación de un centro de motores eléctricos que cuente con IA, ubicado en Riobamba y que permita la realización de

diagnóstico predictivo, además de mantenimiento que puede ser preventivo, correctivo, y que permita brindar capacitación y asistencia técnica. De manera específica se busca, diagnosticar la demanda y brecha del conocimiento sobre el mantenimiento productivo, además de incorporar IA que permita la optimización de los diagnósticos, también diagnosticar las insatisfacciones y atención al sector industrial, de la misma manera se determina la viabilidad económica y rentabilidad del proyecto y estimar el impacto ambiental, marco regulatorio y sostenibilidad de esta investigación.

En este sentido, la IA aplicada al mantenimiento no solo aumenta la confiabilidad operativa, sino también la sostenibilidad energética. Según López et al. (6) la inspección sistemática de ciertos parámetros eléctricos identifica la presencia de ineficiencias que, al igual que los costos inesperados, pueden ser evitados. Ahorra entre un 18% y un 25% sobre el costo de las estrategias convencionales. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (7), la IA en el sector eléctrico de la región tiene el potencial de cumplir con los compromisos de descarbonización del Acuerdo de París y con los ODS de la región, al igual que minimizar el CO₂ y los costos que se operan.

2. Materiales y métodos

La investigación fue de tipo mixta con alcance descriptivo y prospectivo, además el enfoque cuantitativo se aplicó para procesar los datos obtenidos de encuestas y proyecciones de mercado, mientras que el cualitativo permitió analizar el contexto industrial de Riobamba y los requisitos técnicos del centro. Para la delimitación del universo de estudio se identificaron las empresas e industrias del cantón Riobamba con más de seis motores eléctricos en operación, distribuidas en los sectores norte, centro y sur de la ciudad.

Se calculó un tamaño de muestra a partir de un universo de $N = 92$ industrias, aplicando la fórmula estadística de muestra finita, con un nivel de confianza del 95% ($Z = 1.96$), un error de estimación del 10% y probabilidad $p = q = 0.5$.

$$n = \frac{z^2 * N * p * q}{N * e^2 + Z^2 * p * q}$$

Donde:

- Z = Nivel de confianza
- e = error de estimación
- p = probabilidad a favor
- q = probabilidad en contra
- N = Universo = población
- n = tamaño de la muestra

DATOS:

- $Z = 95\% = 1,96$
- $e = 10\% = 0,1$
- $p = 0,5$
- $q = 1-p = 0,5$
- $N = 92$ industrias

$$n = \frac{1,96^2 * 92 * 0,5 * 0,5}{92 * 0,1^2 + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n = 54$$

Se tuvo como resultado un valor de 54 empresas, para estas se diseñó y aplicó una encuesta estructurada que involucró 10 preguntas sobre la frecuencia y tipo de mantenimiento, razones de fallas, costos anuales y actitudes hacia el mantenimiento predictivo con IA, con esto finalmente se procesaron 47 encuestas válidas.

Para el análisis de la demanda y la oferta, se utilizó la información histórica de 2020–2024 proporcionada por la empresa Carrocerías Yaulema Jr. de Riobamba, que registró una tasa de

crecimiento anual del 33.33% en motores intervenidos. Usando regresión lineal por mínimos cuadrados, se establecieron las ecuaciones $Y = 648 + 162x$ (demanda) y $Y = 216 + 54x$ (oferta), con las cuales se proyectaron ambas variables para el período 2025–2029. La demanda insatisfecha se calculó como la diferencia entre ambas proyecciones, determinando la viabilidad del mercado objetivo.

El estudio técnico abordó la macro y microlocalización del centro, diseño de planta y distribución de áreas especializadas (diagnóstico con IA, mantenimiento, capacitación y logística) y la elección de equipamiento con IoT, cámara termográfica, analizador de vibraciones y software de predicción. En el estudio administrativo-legal se resolvió la figura jurídica de Sociedad de Responsabilidad Limitada de acuerdo a la normativa ecuatoriana. En el estudio financiero, se analizó la rentabilidad a través del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), relación beneficio/costo y el punto de equilibrio en un horizonte de cinco años.

3. Resultados

Los resultados de la investigación se presentan en cinco bloques, articulándose con los objetivos específicos de la investigación. Ellos son: diagnóstico de la demanda y el mercado, análisis técnico del sistema de IA, impacto ambiental del proyecto, viabilidad económica y financiera, y marco regulatorio y legal para la operación del centro.

La Tabla 1 resume los resultados del estudio de mercado realizado con 47 empresas industriales en Riobamba, distribuidas en los sectores norte, centro y sur de la ciudad. Cubre siete dimensiones de análisis, incluyendo: frecuencia y tipo de mantenimiento aplicado, disponibilidad de personal técnico capacitado, principales causas de fallos, gasto anual en mantenimiento, grado de conocimiento sobre inteligencia artificial y factores decisivos en la contratación del servicio.

3.1. Estudio de mercado y diagnóstico de la demanda

La Tabla 1 resume los resultados del estudio de mercado realizado con 47 empresas industriales en Riobamba, distribuidas en los sectores norte, centro y sur de la ciudad. Cubre siete dimensiones de análisis, incluyendo: frecuencia y tipo de mantenimiento aplicado, disponibilidad de personal técnico capacitado, principales causas de fallos, gasto anual en mantenimiento, grado de conocimiento sobre inteligencia artificial y factores decisivos en la contratación del servicio.

Tabla 1. Estudio de mercado y diagnóstico de la demanda

		Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Frecuencia de mantenimiento de motores eléctricos en empresas de Riobamba		Cada mes	6	12,8
		Cada 3 meses	11	23,4
		Cada 6 meses	15	31,9
		Solo cuando hay una falla	14	29,8
		No se realiza mantenimiento	1	2,1
Tipo de mantenimiento aplicado con mayor frecuencia		Correctivo (ante falla)	27	57,5
		Preventivo (cronograma)	16	34,0
		Predictivo (datos y monitoreo)	3	6,4
		No realiza mantenimiento	1	2,1

Personal capacitado para mantenimiento de motores	interno	Sí, personal capacitado	23	48,9
	para de	No cuenta con personal	14	29,8
		Solo revisiones básicas	10	21,3
Principales causas de fallo en motores eléctricos	de	Desgaste natural	15	31,9
		Sobrecarga o mal uso	13	27,7
		Falta de mantenimiento	12	25,5
		Desconocimiento técnico	6	12,8
Costo promedio anual de mantenimiento de motores eléctricos	de	Menos de \$500	15	31,9
		Entre \$500 y \$2.000	24	51,1
		Más de \$2.000	7	14,9
		No realiza mantenimiento	1	2,1
Nivel de conocimiento sobre mantenimiento predictivo con IA	de	Sí conoce	7	14,9
		No conoce	26	55,3
		Ha escuchado, pero no familiarizado	14	29,8
Factores que influyen en la decisión de contratación	de	Costo del servicio	32	28,1
		Calidad del mantenimiento	31	27,2
		Experiencia del personal técnico	28	24,6
		Tiempo de respuesta	18	15,8
		Cercanía del centro	5	4,4

Los resultados revelan que el mantenimiento reactivo predomina en el sector industrial de Riobamba: el 31,9 % de las empresas interviene sus motores cada seis meses y el 29,8 % actúa únicamente ante la ocurrencia de una falla. El tipo correctivo lidera con el 57,5 % de los encuestados, mientras el predictivo apenas alcanza el 6,4 %. Adicionalmente, el 51,1 % de las organizaciones carece de personal plenamente capacitado, combinando el 29,8 % sin técnicos especializados y el 21,3 % limitado a revisiones básicas, lo que evidencia una brecha técnica significativa en el sector.

De un punto de vista económico, el 51,1% de las empresas invierte entre \$500 y \$2,000 por año en un tipo de mantenimiento correctivo que eventualmente puede ser sustituido por un tipo de mantenimiento predictivo que, sin duda, les ahorraría costos. De las personas encuestadas, más de la mitad, 55,3% no sabe qué es el mantenimiento predictivo, hecho que justifica el componente de capacitación que se ha propuesto el centro. Luego, la razón más común para contraer su servicio es el costo (28,3%); y la calidad (27,2%) y la experiencia de los técnicos (24,6%) se combinan para captar 79.9% de las preferencias, lo que está dirigiendo la estrategia de posicionamiento y la propuesta de valor del proyecto.

3.2. Análisis de demanda, oferta y demanda insatisfecha

La Tabla 2 presenta la proyección, la oferta y la demanda insatisfecha de servicios de mantenimiento de motores eléctricos para el rango temporal 2025–2029. Los valores se obtuvieron a través del método de regresión lineal simple, usando la información histórica de la empresa YAULEMA Jr. y extrapolada a un universo total de 54 industrias de la región de Riobamba.

Tabla 2. Análisis de demanda, oferta y demanda insatisfecha

Año	Demanda proyectada (motores)	Oferta proyectada (motores)	Demanda insatisfecha (DI)
2025	1.134	378	756
2026	1.296	432	864
2027	1.458	486	972
2028	1.620	540	1.080
2029	1.782	594	1.188
Tasa crecimiento	≈ 33,3 % anual	≈ 33,3 % anual	≈ 33,3 % anual

Desde el 2025 hasta el 2029, la demanda proyectada crecerá de 1.134 motores a 1.782, a una tasa constante del 33,3 % anual. En cada uno de los años analizados, la oferta existente sólo satisface el 33,3 % de la demanda, lo que a su vez genera una demanda insatisfecha que procesa de 756 a 1.188 motores, lo que representa más de 66 % del mercado total, en el resto de los períodos. La demanda insatisfecha que se sostiene el tiempo confirma la viabilidad comercial del centro y la posibilidad de crecer de manera escalonada y repetir este patrón sin llegar a la saturación de la oferta del mercado objetivo. En el sector Industrial, el foco es la demanda, ya que siempre habrá demanda.

3.3. Incorporación de inteligencia artificial al diagnóstico predictivo

La Tabla 3 muestra el sistema de diagnóstico predictivo de motores, que tiene coma y que está a cargo del AI, describe la relación de los cinco parámetros y la de los cinco sensores de cada una de los cinco variables, la tecnología de inteligencia artificial de cada una de las cinco variables, la tecnología de IA sobre la detección de anomalías y el nivel de cada una de las mencionadas tecnologías de IA que se aplicarán en los motores y que están en la actualidad a una de las mencionadas variables en las temperaturas.

Tabla 3. Incorporación de inteligencia artificial al diagnóstico predictivo

Parámetro monitorizado	Sensor utilizado	Tecnología de análisis IA	Indicador de falla anticipada
Vibración	Piezoeléctrico / MEMS	Análisis espectral FFT + ML	Incremento >20 % línea base
Temperatura	Termopar tipo K / PT100	Redes neuronales LSTM	>80 °C en carcasa
Consumo eléctrico	Sensor de corriente AC	Anomaly detection	Desviación >15 % nominal
Ruido acústico	Micrófono industrial	Clasificación SVM	>85 dB persistente
Humedad	Megóhmetro digital IoT	Regresión predictiva	<1 M Ω aislamiento

Basado en los benchmarks de TRACTIAN y PTC ThingWorx, la plataforma permite identificar anomalías entre 2 a 6 semanas antes de la falla, lo que puede llegar a bajar los costos de mantenimiento no planificado en 40%. A través de la plataforma centralizada, el cliente puede supervisar en tiempo real el estado de los equipos desde cualquier dispositivo con acceso a Internet.

3.4. Estructura de precios del servicio

En la Tabla 4, se presenta la estructura de precios de los servicios proporcionados por el centro, incluyendo las siguientes cinco categorías: implementación inicial de sensores IoT con integración a la plataforma en la nube, suscripción mensual a análisis predictivos con IA, desarrollo de modelo de inteligencia artificial personalizado, servicios de mantenimiento correctivo y preventivo por potencia del motor, y programas de capacitación técnica anuales con soporte continuo.

Tabla 4. Estructura de precios del servicio

Servicio	Precio referencial (USD)	Alcance
Implementación inicial sensores IoT + plataforma	\$1.100 / motor	Instalación sensores, integración nube
Suscripción mensual análisis predictivo	\$100–\$150 / usuario/mes	Algoritmos IA, soporte, almacenamiento
Modelos personalizados de IA	\$20.000 (proyecto único)	Desarrollo, entrenamiento, validación
Mantenimiento correctivo / preventivo	\$350 (5 HP) – \$19.800 (1.250 HP)	Desmontaje, revisión, reparación
Capacitación y soporte técnico	\$1.450 / año	Formación en plataforma, actualizaciones

El modelo de precios es por niveles y se diferencia según el tipo de servicio, con la implementación del motor a \$1,100 y suscripciones mensuales de \$100 a \$150, los servicios ofrecen un ROI a corto plazo, especialmente con el 51,1% de las empresas gastando entre \$500 y \$2,000 anualmente en reparaciones correctivas. Los servicios de mantenimiento, con precios entre \$350 y \$19,800 según la potencia del motor, atienden a las pequeñas y grandes empresas industriales en la región de Riobamba.

3.5. Inversión inicial del proyecto

Proyección de ingresos anuales

Los ingresos se proyectan en función de la demanda insatisfecha identificada y la capacidad instalada del centro para atender 20 clientes mensuales en el primer año de crecimiento progresivo.

Tabla 5. Proyección de ingresos anuales

Línea de servicio	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Diagnóstico predictivo + IoT	\$86.400	\$108.000	\$133.200	\$158.400	\$183.600
Mantenimiento preventivo/correctivo	\$76.800	\$100.800	\$124.800	\$153.600	\$182.400
Suscripción mensual análisis IA	\$9.000	\$11.250	\$13.500	\$16.800	\$18.000
Capacitación y soporte técnico	\$7.250	\$7.250	\$13.500	\$13.200	\$12.000
Consultoría y otros servicios	\$550	\$700	\$0	\$0	\$0
TOTAL INGRESOS	\$180.000	\$228.000	\$285.000	\$342.000	\$396.000
Crecimiento anual (%)	—	+26,7 %	+25,0 %	+20,0 %	+15,8 %

Se espera que los ingresos obtenidos presenten un continuo crecimiento, aumentando desde los \$180,000 en el primer año hasta los \$396,000 en el quinto, lo que significa un crecimiento acumulado del 120% en el período evaluado. La línea de diagnóstico predictivo con IoT se convierte en la principal fuente de ingreso, generando 48% de los ingresos de la compañía en el primer año. El crecimiento de ingresos que se espera, disminuye desde un 26,7% en el período dos hasta un 15,8% en el quinto, lo que indica que el mercado va madurando y que la compañía va consolidando su cartera de clientes industriales en el centro de la ciudad de Riobamba.

3.6. Costos operativos anuales proyectados

Los costos operativos incluyen una nómina completa de diez colaboradores con todos los beneficios de ley ecuatoriana (décimo tercero, décimo cuarto, IESS patronal al 12,15 %, vacaciones, y fondos de reserva), materiales técnicos, servicios básicos, marketing y mantenimiento del software predictivo. Se estima una proyección de incremento anual del 5 % por efecto de inflacionario.

Tabla 7. Costos operativos anuales proyectados

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos totales	—	\$180.000	\$228.000	\$285.000	\$342.000	\$396.000
Costos operativos totales	—	\$152.400	\$159.900	\$167.900	\$176.300	\$185.100
Inversión inicial	(\$143.500)	—	—	—	—	—
FLUJO NETO DEL PERÍODO	(\$143.500)	\$27.600	\$68.100	\$117.100	\$165.700	\$210.900
Factor de descuento (12 %)	1,0000	0,8929	0,7972	0,7118	0,6355	0,5674
Flujo descontado	(\$143.500)	\$24.643	\$54.289	\$83.341	\$105.312	\$119.670
FLUJO ACUMULADO	(\$143.500)	(\$115.900)	(\$47.800)	\$69.300	\$235.000	\$445.900

El flujo de caja muestra que la inversión inicial de \$143,500 comienza a generar un flujo de caja neto positivo desde el primer año de operación, aumentando progresivamente de \$27,600 en el Año 1 a \$210,900 en el Año 5. El flujo de caja acumulado pasa de negativo en los Años 0, 1 y 2 a positivo en el Año 3 (\$69,300), confirmando que la inversión se recupera en el tercer año de operación. Al final del período de evaluación, el flujo de caja acumulado es de \$445,900, que es el triple de la inversión inicial y muestra la fortaleza financiera del proyecto.

3.8. Indicadores financieros de rentabilidad

La Tabla 8 consolida los cuatro indicadores de rentabilidad calculados sobre el horizonte de cinco años con una tasa de descuento del 12 % anual, considerada representativa para proyectos de servicios industriales en Ecuador según referencias del Banco Central del Ecuador y el sector MIPYME.

Tabla 8. Indicadores financieros de rentabilidad

Indicador	Resultado	Criterio de decisión	Interpretación para el proyecto
Valor Actual Neto (VAN)	\$243.755,00	$VAN > 0 \rightarrow$ viable	El proyecto genera \$243.755 de valor neto por encima de la inversión requerida al 12 % de descuento, confirmando su rentabilidad económica.
Tasa Interna de Retorno (TIR)	50,2 %	$TIR >$ tasa descuento (12 %)	La TIR del 50,2 % supera ampliamente el costo de oportunidad del 12 %, indicando que el proyecto es altamente rentable y capaz de soportar variaciones negativas en ingresos.
Relación Beneficio/Costo (B/C)	1,33	$B/C > 1 \rightarrow$ viable	Por cada dólar invertido, el proyecto genera \$1,33 en valor presente neto de ingresos. La relación confirma que los beneficios superan los costos totales en un 33 %.
Período de Recuperación (PR)	2 años 5 meses	$PR <$ horizonte del proyecto	La inversión inicial de \$143.500 se recupera aproximadamente en el mes 5 del tercer año de operación, representando un plazo competitivo para proyectos del sector de servicios industriales.
Punto de Equilibrio PE (unidades)	166 serv./año	$PE <$ producción proyectada	Se requieren 166 servicios anuales (≈ 14 /mes) para cubrir todos los costos fijos. En el Año 1 se proyectan 240 servicios, lo que representa un margen de seguridad del 44,6 %.
Punto de Equilibrio PE (USD)	\$124.138/año	$PE <$ ingresos proyectados	El centro debe facturar al menos \$124.138 anuales para no incurrir en pérdidas. Los

ingresos del Año 1 (\$180.000) superan este umbral en \$55.862, proporcionando un colchón financiero sólido.

Los cuatro indicadores superan los mínimos umbrales de viabilidad financiera. El VPN positivo de \$243,755 confirma que el proyecto genera valor sobre el costo de oportunidad del capital. La TIR de 50,2% es 4 veces la tasa de descuento aplicada, mostrando que el proyecto tiene un amplio margen para resistir escenarios adversos de menor demanda. La relación B/C de 1.33 confirma que cada dólar invertido retorna \$1.33 en valor presente. Por el momento, se cuenta con un margen de seguridad del 44.6% sobre lo requerido, acumulando 240 servicios. Esto se alinea con el panorama del Año 1, proyectando un consumo de 240 servicios.

La Figura 1 muestra la proyección financiera del centro como una combinación de un gráfico de barras y un gráfico de líneas que emula el estilo visual del software SPSS Statistics. Las barras muestran los ingresos totales, los costos operativos y los flujos de efectivo netos para cada año del horizonte; la línea superpuesta muestra la evolución del flujo de efectivo acumulado en el eje secundario, indicando el punto de recuperación.

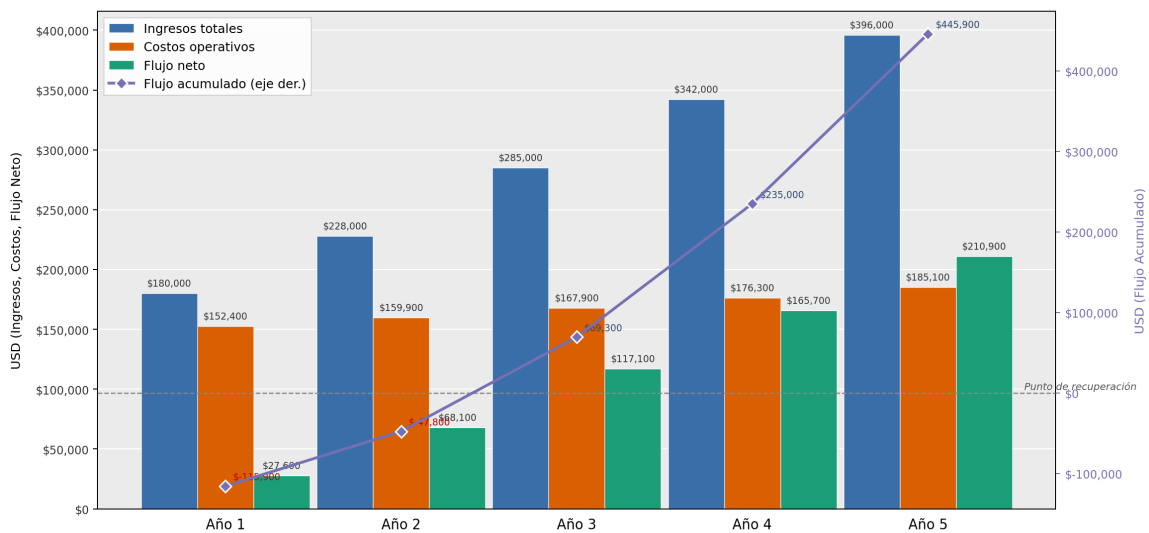


Figura 1. Indicadores financieros de rentabilidad

3.9. Evaluación del impacto ambiental y medidas de mitigación

El proyecto fue evaluado bajo el marco del Acuerdo Ministerial 109 del MAATE, clasificándolo como bajo impacto ambiental, sin embargo, la naturaleza de las actividades genera residuos peligrosos y emisiones que requieren un Plan de Manejo Ambiental. La tabla 5 presenta la matriz de impactos identificados y las medidas de mitigación planificadas.

Tabla 9. Evaluación del impacto ambiental y medidas de mitigación

Aspecto ambiental	Tipo de impacto	Magnitud	Medida de mitigación
Aceites y lubricantes usados	Contaminación suelo/agua	Media	Convenio con gestores MAATE autorizados
Solventes y desengrasantes	Emisiones tóxicas / inflamabilidad	Media	Almacenamiento en área ventilada segregada
Escobillas y bobinas dañadas	Residuos eléctricos peligrosos	Baja	Contenedores codificados por color (GHS)

Ruido de motores en prueba	Contaminación acústica	Baja	Aislamiento acústico en área de pruebas
Consumo energético	Emisiones indirectas CO ₂	Baja	Iluminación LED + sistema fotovoltaico 10 kW
Metales pesados (Cu, Pb, Sn)	Toxicidad en residuos	Baja	Segregación y disposición según TULSMA Libro VI

La instalación de un sistema fotovoltaico de 10 kW sobre la cubierta del edificio permitirá reducir entre el 30 y el 50 % del consumo de la red eléctrica, equivalente a evitar la emisión de CO₂ correspondiente a aproximadamente 200 árboles plantados por año. La adopción de la norma ISO 14001:2015 sistematizará la gestión ambiental del centro.

3.9. Marco regulatorio y propuesta de legalización

Para la operación legal del centro de mantenimiento de motores eléctricos con IA en Riobamba se identificó la sociedad de responsabilidad limitada, como la figura jurídica más adecuada. La tabla 6 resume el proceso de constitución y los requisitos de legalización según la normativa ecuatoriana vigente.

Tabla 10. Marco regulatorio y propuesta de legalización

N°	Trámite	Entidad responsable	Plazo estimado
1	Reserva del nombre comercial	Superintendencia de Compañías	1–3 días
2	Elaboración y firma de escritura pública de constitución	Notario público	3–5 días
3	Inscripción en el Registro Mercantil	Registro Mercantil de Riobamba	2–3 días
4	Obtención del RUC	Servicio de Rentas Internas	1 día
5	Licencia Única de Actividades Económicas (LUAE)	GAD Municipal Riobamba	5–10 días
6	Permiso del Cuerpo de Bomberos	Cuerpo de Bomberos de Riobamba	3–5 días
7	Registro ambiental (SUIA)	MAATE / Acuerdo Ministerial 109	15–30 días
8	Afiliación al IESS y registro laboral	IESS / Ministerio del Trabajo	1–3 días

Las actividades relacionadas con el proceso de legalización pueden durar entre 31 y 60 días de manera estimativa, dependiendo del tiempo secuencial de cada actividad. Los pasos más críticos, en términos de tiempo, son la obtención de la Resolución Ambiental de la MAATE, que podría tardar hasta 30 días, y la obtención de la LUAE en el GAD Municipal. Con respecto a la figura jurídica, la Cía. Ltda. es la más adecuada para los 13 socios del proyecto, porque ofrece responsabilidad limitada, con capital mínimo flexible, y su estructura gerencial es adaptable a las necesidades operativas y de expansión del centro de mantenimiento.

El marco normativo internacional que fue adoptado por el centro, y que se presenta en la Tabla 7, está compuesto por seis normas de la familia ISO e IEC, seleccionadas en función de las actividades críticas del proyecto. Para cada norma, se identifica el alcance que tiene en la organización y el aporte que ofrece a la calidad, la seguridad laboral, la sostenibilidad ambiental, y en la protección de los datos que genera la inteligencia artificial.

Tabla 11. Marco normativo internacional

Norma	Ámbito de aplicación	Beneficio para el centro
ISO 9001:2015	Sistema de Gestión de Calidad	Estandarización del servicio técnico
ISO 45001:2018	Seguridad y salud ocupacional	Prevención de accidentes en taller
ISO 14001:2015	Gestión ambiental	Control de residuos peligrosos
ISO 50001:2018	Gestión de la energía	Eficiencia energética de motores
ISO/IEC 27001:2022	Seguridad de la información	Protección de datos e IA
IEC 60034 / 60204-1	Motores eléctricos y seguridad de maquinaria	Estándares técnicos de intervención

La combinación de ISO 9001, ISO 45001 e ISO 14001 proporciona una base de gestión integrada que abarca los tres pilares del desempeño organizacional, que son la calidad, la seguridad y el medio ambiente. La adición de ISO 50001 es particularmente importante ya que el centro promueve la eficiencia energética como un servicio central para sus clientes. Por su parte, ISO/IEC 27001 protege la integridad de los datos procesados por la IA, mientras que las normas IEC 60034 y 60204-1 aseguran que todas las intervenciones técnicas se realicen de acuerdo con los estándares de ingeniería eléctrica reconocidos internacionalmente

4. Discusión

Los resultados del estudio de mercado indican que el 57,5% de las empresas industriales en Riobamba aplican solo mantenimiento correctivo, mientras que el mantenimiento predictivo apenas alcanza el 6,4%. Tales hallazgos son consistentes con lo reportado por Mafla et al. (8), quienes indican que, en la industria latinoamericana, el mantenimiento predictivo se asocia con altas inversiones iniciales y bajo entrenamiento técnico, factores que obstaculizan su implementación, incluso cuando las ventajas están bien documentadas. Asimismo, la revisión sistemática de Hector y Panjanathan (9) concluye de manera similar que el mantenimiento basado en condiciones sigue siendo minoritario en contextos industriales en países en desarrollo, donde persiste la cultura de intervención reactiva en ausencia de centros especializados que puedan facilitar un cambio tecnológico. La demanda no satisfecha de 756 motores en 2025 identifica la relevancia del centro propuesto.

Por otra parte, el sistema de diagnóstico en el centro integra cinco parámetros operacionales: vibración, temperatura, consumo de energía, ruido acústico y resistencia de aislamiento, monitoreados a través de sensores IoT y procesados mediante algoritmos de aprendizaje automático. Esta arquitectura está en línea con Mohammed et al. (10), quienes desarrollaron un sistema de mantenimiento predictivo para motores eléctricos basado en IoT y aprendizaje automático con sensores de temperatura, vibración y corriente, logrando la detección temprana de fallas utilizando Raspberry Pi y MQTT. Además, Drakaki et al. (11) afirman que la combinación de técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para el mantenimiento predictivo de motores asíncronos en entornos de Industria 4.0 permite anticipar fallas con semanas de antelación, alineándose con los parámetros de 2 a 6 semanas reportados por este proyecto, y hasta un 40% de reducción en costos de mantenimiento no planificado.

Además de ello, la literatura corrobora la elección de redes neuronales LSTM para el monitoreo de temperatura, análisis espectral FFT para vibraciones y clasificación SVM para ruido acústico como tecnologías de análisis para el sistema propuesto. Vos et al. (12) mostraron que la arquitectura LSTM combinada con SVM de una clase permite la separación de señales anómalas de las normales de

vibraciones en una condición de entrenamiento semi-supervisado logrando alta precisión, incluso con un conjunto de datos pequeño. Mientras tanto, el estudio de Achouch et al. (13) corrobora que los modelos basados en aprendizaje automático para el monitoreo de fallas en compresores industriales son capaces de clasificar correctamente diferentes tipos de fallas operativas, reiterando que la arquitectura multiparamétrica adoptada por el centro proporciona una cobertura diagnóstica superior a los sistemas convencionales.

Es importante mencionar que la demanda no satisfecha proyectada, que crece de 756 motores en 2025 a 1,188 en 2029 a una tasa constante del 33.3% anual, representa más del 66% del potencial total del mercado en todos los periodos analizados. Tal perspectiva de mercado es consistente con el análisis bibliométrico de Chaudhry et al. (14), donde confirman el crecimiento exponencial de publicaciones sobre mantenimiento predictivo y citan una demanda industrial creciente no satisfecha en servicios especializados, particularmente dentro de los servicios del sector industrial emergente. Además, el 89,4% de aceptación de servicio con IA en la encuesta está alineado con Benhanifia et al. (15), quienes concluyen que el mantenimiento predictivo mejora significativamente la sostenibilidad de los procesos de fabricación, aumentando así la disposición de las empresas a adoptar estas tecnologías cuando hay una oferta fácilmente accesible y disponible localmente.

Por su parte, los indicadores financieros obtenidos están muy por encima de los umbrales mínimos de viabilidad y posicionan el proyecto entre los más rentables del sector de servicios industriales en Ecuador. Esto está alineado con el marco teórico proporcionado por Shao y Sorourkhah (16) donde afirma que un VAN significativamente positivo junto con una TIR mayor que la tasa de descuento es una condición suficiente para calificar el proyecto como valioso desde una perspectiva financiera. Adicionalmente, la revisión de Wahid (17) sobre los análisis tecno económicos indica que los proyectos de implementación tecnológica con períodos de recuperación de menos de tres años, como este, con un retorno en 2 años y 5 meses, son considerablemente atractivos en comparación con los sectores energéticos de alta rentabilidad, validando la inversión inicial de \$143,500 como una inversión financieramente sólida en el sector industrial de Chimborazo.

De acuerdo con la Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental donde el proyecto está clasificado como de bajo impacto según el Acuerdo Ministerial 109 de MAATE, hay dos de magnitud media y cuatro de magnitud baja. La adopción del marco normativo de ISO 14001:2015 para sistematizar la gestión ambiental del centro está respaldada por Alsulamy et al. (18), quienes mencionan que, de 120 organizaciones de seis sectores industriales, mostraron que los beneficios percibidos de la certificación ISO 14001 incluyen la mejora del cumplimiento normativo, la disminución de residuos peligrosos y el fortalecimiento de la imagen institucional. A nivel latinoamericano, Mendoza et al. (19), en su estudio sobre empresas ecuatorianas, confirman que el diseño de Sistemas de Gestión Ambiental basados en la norma ISO 14001:2015 reduce el impacto de los residuos industriales y mejora la gestión del agua, apoyando así el plan de gestión ambiental propuesto para el centro en Riobamba.

Además, el proceso de legalización del centro se estima entre 31 y 60 días hábiles, y consiste en 8 trámites. Por otra parte, la legalización del centro como una Sociedad de Responsabilidad Limitada y la adopción conjunta de las Normas ISO 9001, ISO 45001, ISO 14001, ISO 50001 e ISO/IEC 27001, constituyen la implementación de un sistema de gestión integrado de acuerdo con los sistemas de gestión más exigentes a nivel internacional. Por su parte, la instalación de un sistema fotovoltaico de 10 kW se traduce en una reducción del 30 al 50 % del consumo eléctrico de la red. En la misma línea y en relación con el análisis de Vos et al. (12) y la revisión de Hector y Panjanathan (9), se indica que los sistemas de mantenimiento predictivo que se integran con la gestión energética permiten optimizar el consumo eléctrico de los motores que son objeto de la vigilancia, con lo que se generan, a través de los centros, un doble beneficio, la reducción de

emisiones de CO₂, en las instalaciones del cliente y en las del centro. En conjunto, los resultados del estudio a nivel cuantitativo y cualitativo confirman que el Centro de Mantenimiento de Motores Eléctricos con IA en Riobamba, constituye una respuesta técnicamente factible, económicamente viable y sosteniblemente, ambientalmente para la industria de la provincia de Chimborazo.

5. Conclusiones

El estudio de mercado realizado a las 47 empresas industriales de Riobamba confirma que el mantenimiento reactivo domina el mercado, esto quiere decir que el 57,5% aplica mantenimiento correctivo y solo el 6,4% cuanta con algún tipo de esquema predictivo. El 55,3% desconoce el mantenimiento con IA, subrayando la necesidad de un componente de capacitación técnica, no obstante, el 89,4% expreso disposición a implementar mantenimiento con IA, validando la viabilidad comercial del proyecto en el sector industrial de Chimborazo.

El sistema de diagnóstico integra cinco parámetros operativos mediante sensores IoT y algoritmos de machine learning. Esta arquitectura permite anticipar fallas entre 2 y 6 semanas antes de su ocurrencia y reducir los costos de mantenimiento no planificado hasta en un 40 %, constituyendo el diferenciador tecnológico central del centro respecto a los servicios convencionales disponibles en la región

El uso de regresión lineal ($Y = 648 + 162x$) sugiere que hay una demanda insatisfecha creciente con un rango de 756 demandas insatisfechas en 2025, en comparación con 1,188 en 2029. Esto constituye más del 66 por ciento de la demanda total del mercado en los intervalos de tiempo específicos. La oferta del mercado se estima actualmente en el 33.3 por ciento de la demanda, lo que indica que el mercado objetivo es capaz de absorber el crecimiento del centro sin ningún riesgo de saturación. Esto apoya la previsión de que habrá 20 clientes por mes en el primer año, con aumentos estimados que superan el año definido.

El análisis financiero que abarca un período de cinco años indica que en todas las dimensiones de viabilidad se superarán. Con el valor neto presente (VAN) de 243,755, la tasa interna de retorno (TIR) de 50.2 por ciento y la relación costo-beneficio (c/b) es 1.33. El período de recuperación es de 2 años y 5 meses, el margen de 44.6 por ciento se atribuye a la proyección del primer año de 240 servicios. Los 166 servicios son el punto de equilibrio que se estima alcanzable. Estos hallazgos validan que el valor presente de 143,500 se espera como retorno, que es mayor que el costo de oportunidad del capital, considerando que está comprometido en el sector industrial ecuatoriano donde se realizará el retorno.

El proyecto se categoriza como de bajo impacto ambiental bajo el Acuerdo Ministerial 109 de MAATE, con medidas de mitigación definidas para seis aspectos identificados. Se espera que la instalación de un sistema fotovoltaico de 10 kW disminuya el consumo de energía de la red en un 30-50%. El proceso de legalización como Cía. Ltda. consiste en 8 procedimientos que se pueden completar en 31 a 60 días hábiles. La adopción de seis normas ISO y IEC establece un sistema de gestión integrado que garantiza calidad, seguridad, sostenibilidad y protección de los datos gestionados por la IA.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Bala A, Jusoh RZ, Ismail I, Oliva D, Muhammad N, Sait SM, et al. Artificial intelligence and edge computing *Green World Journal* /Vol 09/ Issue 02/333/ May – August 2026 /www.greenworldjournal.com

- for machine maintenance–review. *Artificial Intelligence Review*. 2024; 57(119): p. 1–2.
2. Bueno M. Mantenimiento preventivo y predictivo para motores eléctricos. *Ingeniería, innovación, tecnología y ciencia*. 2023; 1(2): p. 38–41.
 3. Ribeiro RF, Santos IAd, Mendes M, Teixeira CE, Borges LE, Ferreira G. Fault detection and diagnosis in electric motors using 1d convolutional neural networks with multi-channel vibration signals. *Measurement*. 2022; 190(110759).
 4. Instituto Tecnológico de la Energía. Energías renovables. [Online].; 2021. Available from: <https://www.energias-renovables.com/eolica/ite-trabaja-en-el-mantenimiento-predictivo-de-20210614>.
 5. Mallioris P, Aivazidou E, Bechtsis D. Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2024; 50.
 6. Lopez JA, Llanganate FA, Rueda WP, Mullo ME. Estudio de técnicas y tecnologías para implementar mantenimiento predictivo en sistemas eléctricos industriales. *Polo del conocimiento*. 2025; 10(4).
 7. Banco Interamericano de Desarrollo. Tecnologías de inteligencia artificial (AI) en el mantenimiento de activos del sector eléctrico. [Online].; 2022. Available from: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tecnologias-de-Inteligencia-Artificial-AI-en-el-mantenimiento-de-activos-del-sector-electrico.pdf>.
 8. Maffa C, Castejon C, Rubio H. Mantenimiento predictivo en tractores agrícolas. Propuesta de metodología orientada al mantenimiento conectado. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*. 2022; 6(1).
 9. Hector I, Panjanathan R. Predictive maintenance in Industry 4.0: a survey of planning models and machine learning techniques. *PeerJ Computer Science*. 2024; 10.
 10. Mohammed NA, Abdulateef OF, Hamad AH. An IoT and Machine Learning–Based Predictive Maintenance System for Electrical Motors. 2023; 56(4).
 11. Drakaki M, Karnavas YL, Tzifettas IA, Linardos V, Tzionas P. Machine Learning and Deep Learning Based Methods Toward Industry 4.0 Predictive Maintenance. *Revista de Ingeniería Industrial y Gestión*. 2021; 15(1).
 12. Vos K, Peng Z, Jenkins C, Shahriar MR, Borghesani P, Wang W. Vibration–based anomaly detection using LSTM/SVM approaches. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2022; 169.
 13. Achouch M, Dimitrova M, Dhouib R, Ibrahim H, Adda M, Sattarpanah S, et al. Predictive Maintenance and Fault Monitoring Enabled by Machine Learning: Experimental Analysis of a TA–48 Multistage Centrifugal Plant Compressor. *Applied Sciences*. 2023; 13(3).
 14. Chaudhry S, Salman A, Seher A, Iftikhar F, Amjad S. Predictive Maintenance in Industrial Internet of Things: Current Status. *International Journal of Innovations in Science & Technology*. 2024; 6(7).
 15. Benhanifa A, Cheikh ZB, Oliveira PM, Valente A, Lima JLS. Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. *Intelligent Systems with Applications*. 2025; 26.
 16. Shao S, Sorourkhah A. A Novel Perspective on Prioritizing Investment Projects under Future Uncertainty: Integrating Robustness Analysis with the Net Present Value Model. *Economics*. 2024; 18(1).
 17. Wahid A. Techno–Economic Analysis: A Comprehensive Examination of Assessing Technology Viability and Economic Feasibility. *Journal of Engineering and Technology*. 2023; 12(4).
 18. Alsulamy S, Dawood S, Rafik M, Mansour M. Industrial Sectors’ Perceptions about the Benefits of Implementing ISO 14001 Standard: MANOVA and Discriminant Analysis Approach. *Sustainability*. 2022; 14(9).
 19. Mendoza MG, Loor MG, Alcívar MA. Implementación de la norma ISO 14001 en empresas manabitas y su incidencia en el desarrollo sostenible. *Revista InveCom*. 2024; 4(2).



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>