

APORTES DE LOS TRABAJOS DE TITULACIÓN DEL GIDTEC EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS MECÁNICOS PARA EL MANTENIMIENTO

René Vinicio Sánchez Loja¹, Mariela Cerrada Lozada²

^{1,2}Universidad Politécnica Salesiana

Cuenca, Ecuador

¹rsanchezl@ups.edu.ec, ²mcerrada@ups.edu.ec

Resumen

El Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico ha desempeñado un papel fundamental en la formación de ingenieros mecánicos con competencias en mantenimiento. A través de diversos trabajos de titulación, el GIDTEC ha establecido un ecosistema colaborativo donde convergen intereses académicos, necesidades industriales y potencial investigativo de los estudiantes. El presente artículo analiza las contribuciones de los trabajos de titulación desarrollados entre 2018 y 2024, identificando cinco áreas clave: implementación de mantenimiento predictivo con técnicas avanzadas, aplicación de técnicas de monitoreo de varios parámetros, aplicación de técnicas visuales para monitoreo de condición, desarrollo de bancos de prueba, y análisis comparativo de materiales y tecnologías. Los resultados evidencian el impacto significativo en la formación de competencias técnicas específicas, metodológicas, instrumentales y de implementación, fortaleciendo el perfil profesional de los graduados. Estos trabajos han trascendido el ámbito académico, generando soluciones innovadoras con aplicación directa en entornos industriales y contribuyendo al fortalecimiento del vínculo universidad-empresa.

Palabras Clave— mantenimiento predictivo, monitoreo de condición, análisis de vibraciones, emisiones acústicas, formación por competencias, vinculación universidad-empresa.

1. Introducción

La industria actual enfrenta un panorama de transformación acelerada impulsado por la cuarta revolución industrial, donde las tecnologías

digitales y los sistemas inteligentes redefinen las prácticas de mantenimiento tradicionales. En este contexto, la formación de ingenieros mecánicos con competencias en mantenimiento adquiere relevancia estratégica para maximizar la disponibilidad y confiabilidad de activos físicos, además mejorar las opciones de la empleabilidad de los mismos.

La gestión moderna del mantenimiento debe integrar aspectos técnicos, económicos y organizacionales, lo que exige una formación multidisciplinaria que combine conocimientos de análisis de señales, monitoreo de condición y modelamiento matemático. En Ecuador, las empresas están transitando gradualmente hacia enfoques de mantenimiento basados en condición, lo que requiere ingenieros con competencias específicas en análisis e interpretación de señales. El Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico (GIDTEC) de la Universidad Politécnica Salesiana ha asumido un rol protagónico en la formación de competencias específicas para el mantenimiento en estudiantes de ingeniería mecánica. Su estrategia formativa se fundamenta en el desarrollo de trabajos de titulación orientados a resolver problemáticas concretas del mantenimiento industrial.

Los trabajos desarrollados en GIDTEC entre 2018 y 2024 reflejan la evolución de las tendencias en mantenimiento industrial y la capacidad de adaptación del grupo a los retos tecnológicos emergentes [1]. La colaboración establecida con empresas del sector productivo ha potenciado el impacto formativo, permitiendo a los estudiantes enfrentarse a problemas reales y desarrollar soluciones aplicables [2].



El presente trabajo analiza cómo los trabajos de titulación desarrollados en el GIDTEC han contribuido a la formación de competencias específicas para el mantenimiento en estudiantes de ingeniería mecánica.

2. Metodología de formación

2.2. Enfoque práctico y orientado a la investigación aplicada

La metodología implementada por el GIDTEC para la formación de ingenieros mecánicos con competencias en mantenimiento se fundamenta en un abordaje práctico que integra la investigación aplicada como eje central. Los trabajos de titulación se conciben como proyectos orientados a resolver problemáticas específicas, siguiendo un proceso que incluye:

1. Identificación de problemas relevantes en el campo del mantenimiento industrial.
2. Revisión sistemática de literatura científica y técnica.
3. Diseño e implementación de protocolos experimentales.
4. Análisis crítico de resultados y formulación de soluciones técnicas.
5. Validación de las soluciones propuestas en entornos reales o simulados.

Este modelo permite a los estudiantes desarrollar competencias en investigación científica mientras adquieren experiencia práctica en la resolución de problemas técnicos.

2.2. Colaboración con la industria para proyectos reales

Un componente distintivo de la metodología del GIDTEC es la vinculación con el sector industrial

para el desarrollo de trabajos de titulación. Esta colaboración facilita el acceso a instalaciones, equipos y datos reales. Entre las modalidades implementadas destacan:

- Diagnóstico de problemas específicos en sistemas de mantenimiento empresarial.
- Desarrollo de herramientas de monitoreo adaptadas a necesidades particulares.
- Validación de metodologías de mantenimiento predictivo en entornos operativos reales.

La empresa Cartopel S.A.I. ha sido un importante colaborador en trabajos relacionados con la implementación del análisis de vibraciones en su plan de mantenimiento predictivo [3], permitiendo a los estudiantes enfrentarse a desafíos reales.

2.3. Uso de herramientas tecnológicas avanzadas

GIDTEC incorpora herramientas tecnológicas avanzadas que permiten a los estudiantes familiarizarse con técnicas y equipos utilizados en la industria moderna:

- Software especializado para análisis de señales: MATLAB, DragonVision.
- Herramientas de simulación estructural: Ansys 2024, Adams 2024.
- Sistemas de adquisición de datos: sensores piezoeléctricos, micrófonos, pinzas amperimétricas.
- Técnicas de procesamiento de señales: FFT, análisis de envolvente, cepstrum.

La integración de estas herramientas garantiza que los estudiantes adquieran competencias técnicas alineadas con las demandas actuales del mercado laboral. El trabajo de Chacón [4] ha contribuido



significativamente al diseño de bancos de prueba para la evaluación de la vida útil remanente en sistemas de transmisión.

3. Experiencias en trabajos de titulación

3.1. Implementación de mantenimiento

predictivo con técnicas avanzadas

Una línea investigativa destacada en GIDTEC ha sido la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo utilizando técnicas avanzadas de procesamiento de señales. Destacan: Llivicura [5] implementó la evaluación de indicadores de condición extraídos del dominio de frecuencia para diagnóstico de fallos en cajas de engranajes rectos, utilizando análisis estadísticos como ANOVA y la prueba de Tukey.

Vacacela [6] estableció tres bases de datos para la detección de fallos en rodamientos mediante la integración de señales acústicas, vibracionales y de corriente, utilizando un compresor recíprocante como plataforma experimental.

Pacheco [7] desarrolló un trabajo centrado en la adquisición de señales de vibración y emisión acústica para el diagnóstico de severidad de fallos en maquinaria rotativa, proporcionando una metodología estructurada para la evaluación progresiva del deterioro en componentes mecánicos.

Estos trabajos han contribuido a la formación de ingenieros con competencias avanzadas en el análisis predictivo de fallos.

3.2. Aplicación de técnicas de monitoreo

múltiples sensores

GIDTEC ha impulsado sistemas de monitoreo que integran múltiples sensores para obtener una caracterización más completa del estado de la maquinaria, mejorando la precisión del diagnóstico.

Chingal [8] desarrolló una metodología para la adquisición de señales de corriente del motor de inducción aplicada a la detección de fallos en

engranajes, implementando el Análisis de Firma de Corriente del Motor (AFCM).

Jiménez [2] realizó un estudio comparativo entre las firmas de vibración y corriente para la detección de severidad de fallos en engranajes rectos, evidenciando las ventajas de un enfoque múltiples sensores.

Los trabajos de Cajas y Torres [9] y Calderón y Montalván [10] expandieron el conocimiento sobre la aplicación de técnicas múltiples sensores en diferentes tipos de maquinaria rotativa.

Estos proyectos han permitido a los estudiantes desarrollar una visión integradora del monitoreo de condición, comprendiendo las ventajas y limitaciones de cada técnica.

3.3. Aplicación de técnicas visuales para

monitoreo de condición

Una línea de investigación innovadora ha sido la aplicación de técnicas visuales para el monitoreo de condición de maquinaria rotativa, explorando el uso de señales de video procesadas mediante la técnica espejo.

Carrión y Montesinos [11] evaluaron señales de video para la detección de fallos en rodamientos y acoplamientos, demostrando la viabilidad de esta técnica como alternativa accesible y de bajo costo. Jachero y Ordoñez [12] evaluaron la técnica espejo en motores de combustión interna, mientras que Ormazá y Ortega [13] la aplicaron a bombas centrífugas multietapa.

Estos trabajos han contribuido a la diversificación de las herramientas de monitoreo, introduciendo metodologías innovadoras especialmente relevantes en contextos de limitación de recursos.

3.4. Desarrollo de bancos de prueba y sistemas

experimentales

El diseño e implementación de bancos de prueba constituye otra línea significativa en GIDTEC. Chacón [4] diseñó un banco de pruebas para determinar la vida útil remanente en sistemas de transmisión de engranajes rectos aplicando la



8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



TI · 12 · 13
JUNIO · 2025
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias - Colombia



22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento
27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

metodología TRIZ. El diseño integra una caja de engranajes modular y un sistema de carga neumático, permitiendo recrear distintas condiciones operativas.

Este banco experimental ha sido fundamental para la generación de datos empíricos y la validación de modelos teóricos, constituyendo una infraestructura valiosa para la investigación continuada en GIDTEC y el desarrollo de competencias en diseño mecánico e instrumentación.

3.5. Análisis comparativo de materiales y tecnologías

Los estudios comparativos entre diferentes materiales y tecnologías constituyen otra línea relevante en GIDTEC, permitiendo evaluar ventajas y limitaciones de distintas alternativas.

Cabrera [14] comparó las señales de vibración en engranajes plásticos y metálicos de diente helicoidal, encontrando que los engranajes metálicos presentan mayores amplitudes de vibración debido a su rigidez, mientras que los plásticos exhiben patrones más irregulares.

Lojano [15] realizó un estudio comparativo entre señales acústicas y vibratorias para la detección de severidad de fallos en engranajes rectos, identificando las ventajas específicas de cada técnica.

Estos trabajos han contribuido a desarrollar en los estudiantes la capacidad de análisis crítico y toma de decisiones basada en evidencia.

4. Resultados y contribuciones

4.1. Impacto en la formación de competencias específicas

El análisis sistemático de los trabajos de titulación evidencia un impacto significativo en la formación de competencias específicas, distribuidas en cuatro categorías:

Competencias técnicas específicas: Incluyen análisis espectral de señales, interpretación de

patrones de fallo, modelamiento matemático y diseño de sistemas de monitoreo. Destacan las competencias en procesamiento digital de señales, aplicando técnicas como FFT, análisis de envolvente y cepstrum.

Competencias metodológicas: Abarcan diseño experimental, validación de modelos, análisis estadístico de datos y evaluación comparativa de técnicas diagnósticas. El trabajo de Mogollón y Piedmag [16] demuestra el desarrollo de competencias para la evaluación sistemática de procesos de mantenimiento.

Competencias instrumentales: Comprenden la selección, configuración y operación de instrumentación especializada para la adquisición de datos. El trabajo de Cajas y Torres [9] evidencia el desarrollo de estas competencias.

Competencias de implementación: Incluyen la adaptación de soluciones técnicas a entornos industriales reales, considerando restricciones operativas y económicas, como demuestra el trabajo de Calle [3].

La adquisición de estas competencias ha fortalecido significativamente el perfil profesional de los graduados en ingeniería mecánica, mejorando su empleabilidad en el sector industrial.

4.2. Generación de soluciones innovadoras para la industria

Los trabajos de titulación han trascendido el ámbito académico, generando soluciones innovadoras con aplicación directa en entornos industriales:

Metodologías optimizadas para diagnóstico de fallos: Procedimientos específicos para la detección temprana de fallos en equipos críticos, integrando diferentes técnicas de monitoreo para mejorar la precisión diagnóstica.

Plataformas experimentales: El banco de pruebas desarrollado por Chacón [4] proporciona infraestructura para la validación experimental y la generación de datos empíricos.

Integración de tecnologías no convencionales: La aplicación de la técnica espejo para el análisis



8º CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



11 · 12 · 13
JUNIO · 2025
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias - Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento

27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

visual de fallos [11-13] representa una contribución innovadora, ofreciendo una alternativa complementaria a las técnicas tradicionales.

Bases de datos experimentales: Trabajos como el de Vacacela [6] han generado bases de datos estructuradas con señales en condiciones normales y con fallos de distinta severidad, constituyendo un recurso valioso para el desarrollo de algoritmos diagnósticos.

La transferencia de estas soluciones al entorno productivo se ha materializado a través de proyectos de implementación directa, como el realizado en Cartopel S.A.I. [3].

4.3. Fortalecimiento del vínculo universidad-empresa

Los trabajos de titulación han contribuido significativamente al fortalecimiento de la relación entre la universidad y el sector empresarial, generando beneficios mutuos:

Para la universidad: Acceso a problemas reales y contextos industriales que enriquecen la formación, actualización constante de contenidos académicos, y oportunidades para investigación aplicada con impacto tangible.

Para las empresas: Acceso a conocimientos y metodologías innovadoras, soluciones específicas para sus problemas de mantenimiento, y la posibilidad de identificar talento potencial entre los estudiantes.

Esta vinculación ha sido evidente en los proyectos desarrollados en colaboración con empresas como Cartopel S.A.I. [3], donde la implementación de metodologías de análisis de vibraciones ha contribuido a mejorar la confiabilidad de equipos críticos.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Lecciones aprendidas en la formación de ingenieros mecánicos con competencias en mantenimiento industrial

El análisis de los trabajos de titulación desarrollados en GIDTEC ha permitido identificar factores clave que contribuyen al éxito del proceso formativo:

1. La integración de la investigación aplicada como eje central potencia el desarrollo de competencias técnicas y metodológicas.
2. La vinculación con la industria proporciona contextos reales que enriquecen la experiencia educativa.
3. El enfoque multidisciplinario prepara a los estudiantes para abordar problemas complejos de mantenimiento.
4. La combinación de trabajo experimental y análisis teórico fortalece la capacidad para desarrollar soluciones fundamentadas.

Estas lecciones constituyen la base para la mejora continua del modelo formativo implementado por el GIDTEC.

5.2. Propuestas para fortalecer el vínculo entre academia e industria

A partir de la experiencia acumulada, se identifican las siguientes propuestas:

Establecer programas formales de pasantías enfocadas en proyectos de mantenimiento.

Desarrollar laboratorios colaborativos donde empresas y universidad compartan recursos.

Implementar programas de formación continua para profesionales en ejercicio.

Crear comunidades de práctica que integren a estudiantes, docentes y profesionales.

Estas iniciativas permitirían maximizar el impacto de los trabajos de titulación, facilitando la transferencia tecnológica a contextos industriales reales.

5.3. Perspectivas futuras

Las perspectivas futuras para la formación de ingenieros mecánicos con competencias en

mantenimiento desde el GIDTEC se orientan hacia:

1. Integración de tecnologías emergentes como inteligencia artificial y análisis de grandes datos.
2. Desarrollo de investigaciones enfocadas en mantenimiento sostenible y eficiencia energética.
3. Expansión de las colaboraciones internacionales para enriquecer la formación.
4. Implementación de metodologías que fomenten el abordaje sistemático de problemas complejos.

Estas líneas de desarrollo buscan mantener la pertinencia y calidad de la formación, asegurando que los futuros ingenieros mecánicos cuenten con las competencias necesarias para enfrentar los desafíos tecnológicos del mantenimiento en la era de la Industria 4.0.

5. Referencias

[1] M. Cerrada, R. V. Sánchez, D. Cabrera, G. Zurita, and C. Li, "Multi-stage feature selection by using genetic algorithms for fault diagnosis in gearboxes based on vibration signal," *Sensors*, vol. 15, no. 9, pp. 23903-23926, 2015.

[2] G. S. Jiménez Ludizaca, "Comparación de las firmas de vibración y corriente de un motor de inducción para la detección de severidad de fallos en engranajes rectos," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2023.

[3] A. K. Calle Lazo, "Propuesta de integración del análisis de vibraciones al plan de mantenimiento predictivo de los rodillos de las prensas 1 y 2 en el molino de Cartopel S.A.I.," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2020.

[4] D. S. Chacón Cherez, "Diseño de un banco de pruebas para determinación de la vida útil remanente en sistemas de transmisión de

engranajes rectos aplicando la metodología TRIZ," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2024.

[5] H. F. Llivicura Orellana, "Señales de vibración: evaluación de indicadores de condición extraídos del dominio de frecuencia para el diagnóstico de fallos en cajas de engranajes rectos," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2019.

[6] A. S. Vacacela Costa, "Establecimiento de tres bases de datos para la detección de fallos en rodamientos mediante señales acústicas, vibracionales y de corriente," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2020.

[7] E. E. Pacheco Córdova, "Adquisición de señales de vibración y emisión acústica para el diagnóstico de severidad de fallos en maquinaria rotativa," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2018.

[8] D. E. Chingal Imaicela, "Adquisición de señales de corriente del motor de inducción combinando fallos en la maquinaria rotativa y elaboración de una guía de práctica sobre detección de fallos por medio del AFCM," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2018.

[9] F. D. Cajas Muñoz and C. P. Torres Díaz, "Adquisición de señales acústicas y de vibración para el diagnóstico de fallos en un compresor recíprocante de doble etapa," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2018.

[10] J. C. Calderón Malla and F. I. Montalván Pulla, "Adquisición de señales acústicas y vibracionales para el diagnóstico de fallos en una bomba centrífuga multietapa de eje vertical," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2019.

[11] C. A. Carrión Alberca and R. X. Montesinos Loaiza, "Evaluación de las señales de vídeo para la detección de fallos en rodamientos y acoplamientos empleando la técnica espejo," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021.

[12] C. C. Jachero Urgilés and F. E. Ordoñez Vallejo, "Evaluación de señales de video

empleando la técnica espejo para la detección de fallos en un motor de combustión interna de encendido provocado," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021.

[13] D. A. Ormaza Saldaña and C. R. Ortega Machuca, "Evaluación de las señales de video para la detección de fallos en bombas centrífugas multietapa de eje vertical empleando la técnica espejo," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021.

[14] A. F. Cabrera Romero, "Comparación de las señales de vibración en engranes plásticos y metálicos de diente helicoidal con fallo," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2023.

[15] F. J. Lojano Armijos, "Señales acústicas y de vibración: estudio comparativo para la detección de severidad de fallos en engranes rectos," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2019.

[16] A. A. Mogollón Espinoza and M. V. Piedmag Pérez, "Modelo de auditoría para la gestión de mantenimiento de activos físicos. Caso de estudio: laboratorios del área Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021.

René Vinicio Sánchez Loja: obtuvo su título de Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Ecuador, en 2004, y se doctoró en Investigación en Tecnologías Industriales por la UNED, España, en 2017. Actualmente es profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPS. Sus intereses de investigación incluyen el mantenimiento, sistemas neumáticos e hidráulicos, inteligencia artificial y educación en ingeniería.

Mariela Cerrada Lozada: obtuvo su título de Ingeniería de Sistemas y la maestría en Ingeniería de Control en la Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela, en 1993 y 1998, respectivamente, y el doctorado en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia, en 2003. Trabajó en el Departamento de Sistemas de Control de la ULA desde 1994 hasta 2016. Fue Investigadora Prometeo de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Cuenca, Ecuador, de 2014 a 2015 y de 2016 a 2017. Desde 2017 trabaja en el Departamento de Mecatrónica de la UPS. Sus principales intereses de investigación incluyen la supervisión inteligente industrial, el diagnóstico de fallos, el pronóstico y la gestión de la condición.

Autor 1

- a) Residencia: Ecuador
- b) Oficina: Universidad Politécnica Salesiana
- c) Celular: 0962958863

Autor 2

- a) Residencia: Ecuador
- b) Oficina: Universidad Politécnica Salesiana
- c) Celular: 0988629740