



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER

Título del proyecto:
Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Arteaga Coro Adolfo Vinicio
Tutor/a:
Ing. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico.Msc Ing. Paúl Francisco Baldeón Egas.Msc

Quito – Ecuador

2025

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabian Albarracín Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.**

Elaborado por: Arteaga Coro Adolfo Vinicio, de C.I: 1710532159, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 13 de septiembre de 2024

Firma

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Mg. Paul Francisco Baldeon Egas con C.I: 1002807814 en mi calidad de Tutor metodológico del proyecto de investigación titulado: **Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.**

Elaborado por: Arteaga Coro Adolfo Vinicio, de C.I: 1710532159, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 10 de septiembre de 2025



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Arteaga Coro Adolfo Vinicio con C.I: 1710532159, autor/a del proyecto de titulación denominado: Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A. Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 10 de septiembre de 2025

Firma

Tabla de contenidos

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema	1
Problema de investigación	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	4
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
1.1. Contextualización general del estado del arte	5
1.2. Proceso investigativo metodológico	7
1.3. Análisis de resultados	9
CAPÍTULO II: PROPUESTA	13
2.1. Fundamentos teóricos aplicados	13
2.2. Descripción de la propuesta	19
2.3. Validación de la propuesta	29
2.4. Matriz de articulación de la propuesta	30
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión	32
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1. Costos de Mantenimientos Correctivos de Separadoras	9
Tabla 2. Alarmas de alta vibración del sistema de alertas.	10
Tabla 3. Validadores	29
Tabla 4. Matriz de articulación	30

Índice de figuras

Figura 1. Separadoras de crudo Combustible	1
Figura 2. Pantalla del sistema SCADA	3
Figura 3. Partes internas de una separadora de crudo combustible	5
Figura 4. Sistema EAM (ERP de OCP Ecuador)	8
Figura 5. Sistema CBM de alarmas	8
Figura 6. Históricos de vibraciones en separadoras	8
Figura 7. Historial de vibraciones de la separadora	11
Figura 8. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo inteligente	19
Figura 9. Diagrama de bloques del Sistema de monitoreo	20
Figura 10. Termografía de la separadora	21
Figura 11. Instalación de sensores inalámbricos en las separadora	21
Figura 12. Instalación de la fibra óptica	22
Figura 13. Instalación de equipos y accesorios para ingreso a la red Industrial	22
Figura 14. Acceso a la red Industrial	23
Figura 15. Configuración del Gateway	23
Figura 16. Software EI-Monitoring en el Workstation. (Información y eventos)	24
Figura 17. Software EI-Monitoring en el Workstation. (Configuración)	24
Figura 18. Servidor de base de datos	25
Figura 19. Software DigivibeMX	26
Figura 20. Aplicación móvil Wiser Vibe	27
Figura 21. Sensor inalámbrico Bluetooth en sitio	32
Figura 22. Reconocimiento del Sensor inalámbrico Bluetooth	32
Figura 23. Toma de datos de vibración	33
Figura 24. Verificación de la adquisición de señales	33
Figura 25. Verificación de los registros almacenados	34

Figura 26. Registros almacenados para cargar al software de análisis de vibraciones	34
Figura 27. Menú de administración de base de datos en el Software DigivibeMX	35
Figura 28. Menú de configuración de alarmas en sensores	35
Figura 29. Análisis de vibración de los registros almacenados del sensor de la separadora	36
Figura 30. Análisis de vibración de la dirección X (Axial) del sensor de la separadora	36
Figura 31. Análisis de vibración de la dirección Y (Radial) del sensor de la separadora	37
Figura 32. Análisis de vibración de la dirección Z (Tangencial) del sensor de la separadora	37
Figura 33. Análisis de vibración de los registros almacenados del sensor del motor	38
Figura 34. Análisis de vibración de la dirección X (Axial) del sensor del motor	38
Figura 35. Análisis de vibración de la dirección Y (Radial) del sensor del motor	39
Figura 36. Análisis de vibración de la dirección Z (Tangencial) del sensor del motor	39
Figura 37. Carga de datos a la nube EI-Analytic	40
Figura 38. Análisis de vibraciones de la separadora en la nube EI-Analytic	41
Figura 39. Análisis de vibraciones del motor en la nube EI-Analytic	41

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

En la industria Petroquímica, existen sistemas de separación de líquidos y elementos más pesados en los productos que ingresan como entradas, la máquina principal de estos sistemas son las separadoras de crudo combustible, su principal objetivo es separar el agua, el crudo y lodos que vienen mezclados con el producto ingresado para obtener únicamente el hidrocarburo útil que servirá como combustible de los motores de las bombas principales.

Estas máquinas son críticas en el proceso de transporte de oleoducto, si por alguna falla mecánica detienen su funcionamiento, dejarían de abastecer de combustible a las bombas principales poniendo en riesgo el transporte y por ende el negocio principal de la empresa.

La Empresa Oleoducto de Crudos Pesados tiene como centro de su negocio el transporte de crudo pesado a través de un Oleoducto de 500 Km desde la ciudad de Lago Agrio hasta el puerto Marítimo en Esmeraldas donde existe estaciones de Bombeo y el prototipo del proyecto se lo desarrollará en la estación Páramo del cantón Papallacta en el área de separadoras de crudo combustible.

Según el fabricante Westfalia en la documentación de comisionamiento, “estas máquinas separadoras de crudo incluyen un sistema de monitoreo de vibraciones que se visualiza en un sistema SCADA y únicamente posee una alarma cuantitativa de nivel de vibración que en caso de superar un valor crítico determinado por el fabricante se procede a parar la máquina de manera automática”. (OCP Ecuador, 2003).

Figura 1

Separadoras de crudo Combustible



Nota. Sistema de separadoras de crudo Combustible. Tomado de (OCP Ecuador, 2025).

La estación Páramo tiene como personal de planta un Supervisor de la estación, un ayudante de mecánica, un supervisor de seguridad industrial, un guardia de seguridad física, tres operadores mecánicos, tres operadores eléctricos y personal de mantenimiento predictivo que de manera periódica realizan la visita a la estación para el mantenimiento de condición de la maquinaria.

El ambiente industrial de la empresa depende de:

- a) Las relaciones con la comunidad para beneficiarse de manera común en casos de emergencias, capacitaciones y empleo.
- b) De la producción de petróleo que entregan las compañías de producción las cuales se encuentran directamente relacionadas con el transporte de crudo.
- c) De las condiciones climáticas como lluvias, deslaves o erosiones por el derecho de vía de la tubería que por casos emergentes pueden detener el transporte de crudo ya sea por fuerza mayor como rotura de tuberías o por trabajos preventivos.
- d) De las condiciones legales condicionadas por las autoridades locales como tributos y ordenanzas.

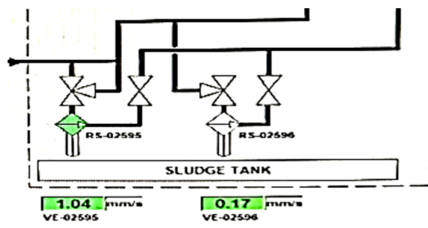
Problema de investigación

Sistema de monitoreo antiguo y limitado para diagnóstico eficiente de fallas mecánicas.

Actualmente en el sistema de alerta cuando el nivel de alarma de vibración de la separadora se encuentra por debajo del nivel de alarma crítica o de parada, el supervisor informa al especialista del evento y se debe trasladar al sitio para evaluar la falla con equipos portátiles de monitoreo más avanzados y emitir un diagnóstico real de la falla mecánica encontrada y planificar el mantenimiento con anticipación

Figura 2

Pantalla del sistema SCADA



Nota. Nivel de vibración horizontal global de las separadoras de crudo combustible.

Tomado de (OCP Ecuador, 2025).

Por lo expuesto anteriormente se desarrollará un nuevo sistema de monitoreo para cubrir las necesidades actuales y lograr detectar las fallas mecánicas con anticipación para evitar los inconvenientes y pérdidas actuales.

Si se continúa con el monitoreo actual los gastos innecesarios en mantenimiento correctivo, repuestos y paradas no programadas también continuarán.

Objetivo general

Desarrollar un sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.

Objetivos específicos

1. Contextualizar los fundamentos teóricos sobre separadoras de crudo combustible en el sistema de motores de las bombas principales del Oleoducto de Crudos Pesados.
2. Determinar la situación real de fallas mecánicas en separadoras de crudo combustible en el Oleoducto de Crudos Pesados.
3. Diseñar un sistema de monitoreo inteligente en separadoras de crudo combustible de la estación Páramo del Oleoducto de Crudos Pesados.
4. Implementar un prototipo en laboratorio utilizando sensores inteligentes y Gateway inalámbricos, el computador Workstation para procesamiento de señales, el Software Digivibex y el servidor con su correspondiente base de datos.
5. Realizar pruebas de funcionamiento y validación del prototipo, análisis de resultados, validar el impacto y factibilidad del proyecto con especialistas para extender a otras estaciones.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

En la empresa OCP Ecuador la vinculación con la sociedad ha estado regida por su departamento interno de responsabilidad social desde el año 2003 con las personas que habitan en los cantones de influencia del oleoducto donde los beneficios directos son capacitación en diferentes áreas de tareas de campo, inversión en infraestructura, cuidado y protección del medio ambiente por medio de planes de manejo ambiental, contratación directa de personal de la zona para trabajar en las estaciones en diferentes áreas tanto técnicas como seguridad industrial, seguridad física y catering. La empresa brinda apoyo a la sociedad en casos de emergencias ambientales, viales o de salud con apoyo económico y con personal capacitado.

El proyecto representa un aporte para la gestión energética por el ahorro que implica un sistema con sensores y equipos de bajo consumo que directamente al detectar anomalías en las separadoras de crudo que son máquinas que operan con un motor eléctrico se obtiene ahorro energético si operan en las condiciones óptimas y a su vez se evitarán derrames de crudo contribuyendo con la reducción del impacto ambiental en las zonas donde operan.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

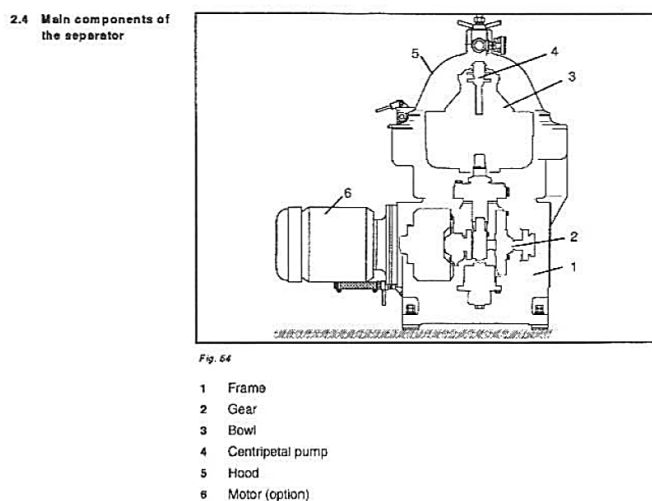
1.1. Contextualización general del estado del arte

Las separadoras de crudo combustible son máquinas que se fundamentan en la separación de diferentes productos empleando el fenómeno físico de centrifugado, operan a velocidad rotativa elevada en el orden de 6000 rpm por lo que sus sistemas mecánicos internos son de precisión y eso conlleva a costos elevados de mantenimiento y reparación en el caso de fallas mecánicas.

Para mantener el monitoreo de los parámetros críticos como vibración, se emplea un sensor de tipo acelerómetro mono-axial instalado en la parte exterior de manera fija y horizontal que viene como parte integral de la máquina con las especificaciones y configuraciones realizadas por el fabricante para obtener los valores de vibración en línea y visualizarlos en el sistema SCADA de monitoreo general de la planta.

Figura 3

Partes internas de una separadora de crudo combustible.



Nota. Componentes principales de separadoras del manual del fabricante.

Tomado de (OCP Ecuador, 2003).

Como parte del programa de monitoreo predictivo, los especialistas realizan medición de vibraciones periódicamente cada tres meses para evaluar la condición real de las máquinas rotativas de las estaciones del Oleoducto que incluyen las separadoras de crudo, se emite un reporte de la condición encontrada para planificar el mantenimiento dependiendo de la criticidad y el tiempo de predicción de fallos.

Con la experiencia como especialista en vibraciones, la información entregada por el sensor que viene instalado por el fabricante en las separadoras es insuficiente para determinar qué tipo de falla originó la vibración elevada y en muchos casos se ha observado que se ha producido alarma por ruido eléctrico, cables sueltos o sensor defectuoso que es independiente de la falla real.

En los últimos años, las fallas ocultas de las separadoras han llegado a ser recurrentes y sin llegar a la activación de la parada de las máquinas por alarma críticas y se ha producido daños mecánicos graves, al determinar las causas se han encontrado fallas mecánicas que han evolucionado en el tiempo de manera muy rápida sin permitir la reacción del sistema de monitoreo actual.

En el caso de OCP Ecuador, las máquinas separadoras de crudo combustible, mantienen un plan de mantenimiento preventivo periódico sin embargo la edad de las máquinas supera los veinte años y es importante implementar un sistema moderno de monitoreo en línea para optimizar el diagnóstico y el mantenimiento llevarlo a condición.

Ante estos eventos, se ha determinado que es necesario implementar un nuevo sistema de monitoreo en línea eficiente y con tecnología actual.

Los sistemas modernos de monitoreo en línea de vibración que ofrecen fabricantes de marcas prestigiosas como Bentley Nevada, Tractian, PCB Piezotronics o Erbessd Instruments, incluyen sensores de vibración de tamaño reducido, de bajo consumo energético, son triaxiales, es decir tres acelerómetros ubicados internamente a 90 grados cada uno, con adquisición y transmisión de datos de manera simultánea que pueden ser inalámbricos con tecnología Wi-Fi, Bluetooth o cableados.

En el caso de sensores inalámbricos, necesitan un Gateway que reciba las señales y envíe a un computador o servidor que se conectará con la base de datos para proceder al almacenamiento de cada señal digitalizada en sus tablas y a su vez almacenar los datos para lectura y escritura en la nube del proveedor.

El programa que lee la base de datos tiene el potencial para procesar la información para que el especialista predictivo realice análisis y diagnóstico de fallas de manera remota y en tiempo real, así como también tiene la capacidad de configuración para emitir diagnóstico con las alarmas preconfiguradas.

Las soluciones comunes de sistemas de monitoreo en línea que los proveedores ofrecen a la industria incorporan sistemas de hardware y software de su propiedad que comercialmente favorece a sus intereses y dejan en constante dependencia del fabricante en cuestión de consultoría, asistencia técnica y desarrollo. En el caso del proyecto planteado, los datos se almacenan y se administran en un servidor independiente del proveedor para gestión, control y análisis interno por seguridad y confiabilidad.

1.2 Proceso investigativo metodológico

- Enfoque de la investigación

El enfoque por utilizar será cuantitativo

- Tipo de investigación

Análisis estadístico en OCP Ecuador sobre reportes de daños en las separadoras en el tiempo

- Métodos, técnicas e instrumentos

- Se utilizará la herramienta ERP de la empresa OCP para obtener un análisis cuantitativo de las reparaciones por incidentes y fallas realizadas en las separadoras, así como los valores por reparación en mano de obra y repuestos.
- Se utilizará la herramienta CBM de la empresa OCP para análisis cuantitativo de alarmas de alta vibración desde el año 2024 que se encuentra emitiendo alertas
- Equipo analizador de vibraciones para obtener históricos de vibración.

Figura 4

Sistema EAM (ERP de OCP Ecuador)

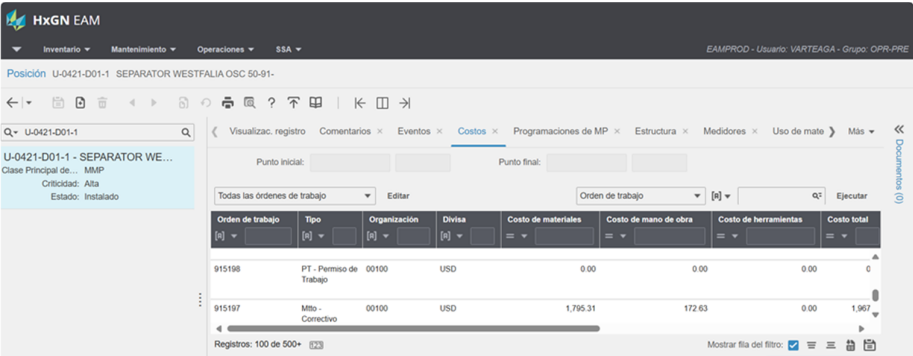


Figura 5

Sistema CBM de alarmas

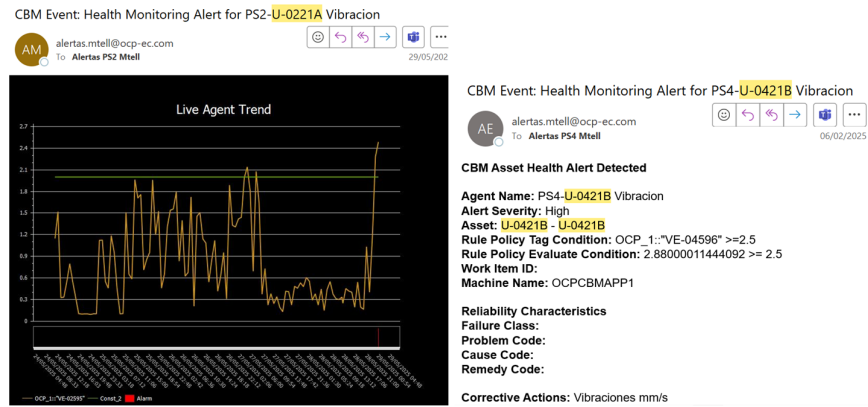
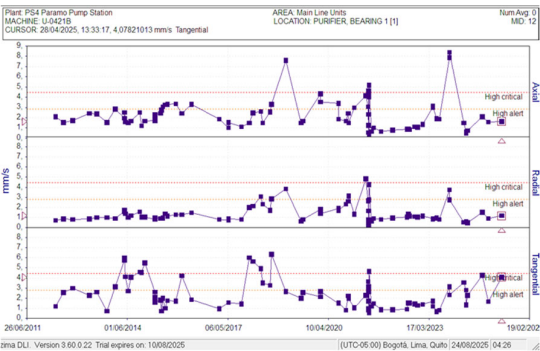


Figura 6

Históricos de vibraciones en separadoras



1.3 Análisis de resultados

1.3.1 Análisis de costos de mantenimientos correctivos

Tabla 1

Costos de Mantenimientos Correctivos de Separadoras

Separadora	Número de Mantenimientos	Costo
U-0121A	16	21757.28
U-0121B	28	73004.36
U-0121C	17	54907.15
U-0221A	33	103234.43
U-0221B	44	241404.42
U-0321A	32	82900.41
U-0321B	31	82197.01
U-0421A	38	166160.05
U-0421B	28	174220.44
TOTAL	267	999785.55

Nota. Reporte del sistema ERP. Costo total de mantenimientos correctivos en las separadoras de crudo combustible en los últimos diez años, desde el 2015 hasta el 2025. El prefijo U-0X se refiere a la estación de Bombeo, 01 Estación Amazonas, 02 Estación Cayagama, 03 Estación Páramo y 04 Estación Páramo

La Tabla 1 muestra los costos elevados de mantenimientos correctivos especialmente en las separadoras de la estación Páramo U-0421A y U-0421B.

1.3.2 Análisis de alarmas de alta vibración.

Tabla 2

Alarmas de alta vibración del sistema de alertas.

Asset	Alert Severity High 2024	Alert Severity High 2025
U-0121A	0	0
U-0121B	0	0
U-0121C	2	0
U-0221A	0	22
U-0221B	41	0
U-0321A	15	6
U-0321B	2	0
U-0421A	35	6
U-0421B	65	2
TOTAL	160	36

Nota. Reporte de alarmas (CBM Asset Health Alert Detected) de los años 2024 y 2025. El sistema de alertas CBM emite alertas vía email desde el año 2024 solamente de la información recolectada del sensor de vibraciones mono-axial instalado en cada separadora.

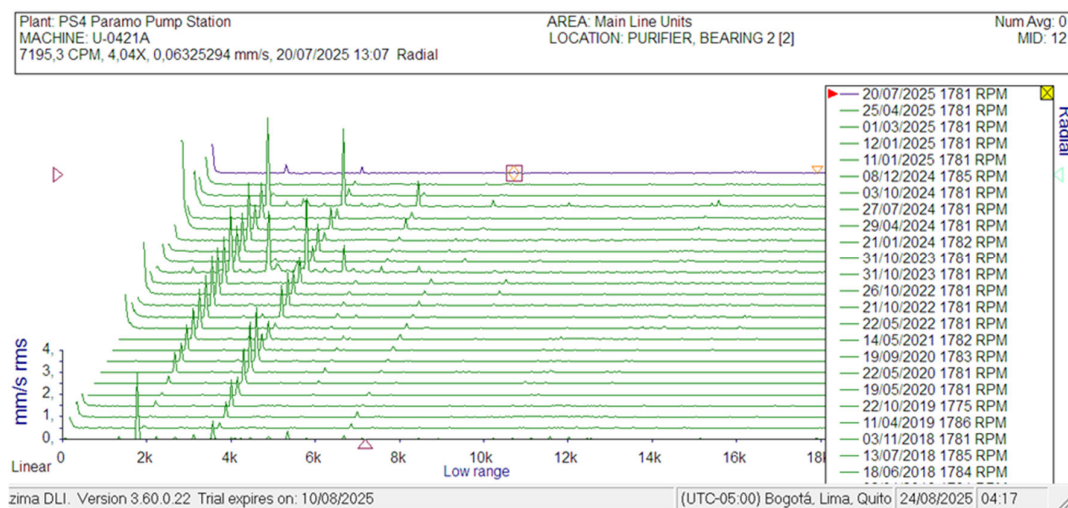
En la Tabla 2 se observa el número de alarmas de alta severidad de vibración que emite el sistema actual de monitoreo en las separadoras en los dos últimos años, la cantidad de alarmas es mayor en la estación Páramo, sin embargo, la mayor cantidad de fallas graves y catastróficas no fueron alertadas.

1.3.3 Análisis de históricos de vibración.

Los especialistas de mantenimiento predictivo realizan el monitoreo y análisis periódico trimestral de vibraciones en las separadoras con un equipo portátil analizador de vibraciones que mantiene una base de datos interna con la información histórica de todos los monitoreos para establecer tendencias, diagnóstico de fallas mecánicas y seguimiento de mantenimientos correctivos de las separadoras para validar la condición mecánica aceptable para la operación.

Figura 7

Historial de vibraciones de la separadora.



La figura 7 presenta el historial del espectro de vibraciones radial de la separadora desde el año 2018 de las mediciones tomadas trimestralmente con el equipo analizador de vibraciones para realizar tendencias y reportar anomalías.

El monitoreo actual en las separadoras de crudo combustible no ha sido suficiente para detectar fallas mecánicas en las separadoras y de manera particular en la estación Páramo.

Análisis FODA

Con los resultados de la investigación se obtiene el diagnóstico actual del sistema de separadoras en referencia a costos elevados por mantenimientos correctivos debido a que no se logró detectar fallas ocultas o de evolución muy corta en el tiempo debido a la poca información recolectada por lo que se ha detectado las fortalezas y oportunidades para mejorar el sistema actual de monitoreo, así como debilidades y amenazas

Fortalezas

- Personal altamente capacitado, especialistas nivel 3 y 4 en tecnologías predictivas.
- Sistema de telecomunicaciones avanzado de alta velocidad por Fibra óptica
- Ubicación estratégica y centralizada de servidor de base de datos
- Infraestructura de red industrial de altas prestaciones

Oportunidades

- Mejorar, optimizar y complementar el sistema de monitoreo limitado con tecnología de Industria 4.0 como IIoT, Internet en la nube y analítica moderna.
- Actualizar sistemas de software y hardware de monitoreo de condición mecánica
- Ahorrar costos de mantenimiento y repuestos por alertas y diagnóstico en tiempo real

Debilidades

- Tecnología obsoleta del sistema de monitoreo original para integrar con el nuevo sistema
- Dependencia del Área de IT para implementar y gestionar la comunicación y almacenamiento de datos.
-

Amenazas

- La empresa se encuentra en transición de accionistas por lo que las aprobaciones del presupuesto y tiempo de compra pueden demorar más de lo estimado.
- Posibles costos adicionales para seguridad informática en la nube interna y limitación a la nube del proveedor en casos de detectar ataques externos.
- La comunicación remota puede verse afectada por desastres naturales que provoquen la rotura de la fibra óptica que enlaza las estaciones de OCP Ecuador con la oficina matriz y con el internet.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1 Fundamentos de la automatización Industrial y monitoreo de procesos

- **Conceptos de automatización en la industria.**

La automatización en la industria hace referencia a la implementación y utilización de sistemas electrónicos, electromecánicos, tecnologías analógicas y digitales para el control y supervisión de procesos a nivel industrial en general, se fundamenta en la instauración de sistemas de control, robótica y tecnologías basadas en computadores industriales o PLCs (Programmable Logic Controller) y sistemas de adquisición de datos, supervisión y control SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) por sus siglas en inglés.

- **Evolución de los sistemas de monitoreo y control.**

El nivel básico del monitoreo industrial corresponde en recopilar datos de diferentes variables físicas. Los sensores especiales colocados en las máquinas y equipos capturan la información y transmiten a los sistemas o plataformas para análisis.

Las tecnologías de monitoreo y control industrial han evolucionado desde los primeros PLC y sistemas SCADA hasta las actuales soluciones que incluyen IIoT y datos en la nube. (Mochuan, 2024)

- **Importancia del monitoreo en entornos industriales críticos**

El entorno industrial posee muchos riesgos potenciales y de manera particular las zonas críticas que son vulnerables para perjudicar la operación y la seguridad de los trabajadores. El monitoreo de máquinas y de procesos industriales ya sea en periodos de tiempo cortos o en el mejor de los casos en tiempo real, proporcionan a las empresas la capacidad de identificar y eliminar riesgos antes de que sucedan incidentes o accidentes graves.

- **Normativas aplicables a sistemas de monitoreo en la industria de hidrocarburos**

En el Ecuador, la institución encargada de fiscalizar y controlar es la ARCH, agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos.

Ley de Hidrocarburos, (Registro Oficial, 2023)

2.1.2. Arquitectura y Funcionalidades de Sistemas Inteligentes de Monitoreo Remoto

- **Definición y características de un sistema Inteligente.**

“Un sistema inteligente es un programa informático, una máquina o un dispositivo con capacidad para tomar decisiones y actuar de forma autónoma. Suele utilizar algoritmos de inteligencia artificial (IA) que le permiten aprender de su entorno, reconocer patrones y tomar medidas en función de los datos adquiridos”. (Dongee, 2025)

“Los sistemas inteligentes incluyen sistemas expertos, procesamiento del lenguaje natural (PLN), aprendizaje automático, robótica y visión por ordenador”. (Dongee, 2025)

- **Principales características que poseen los sistemas inteligentes**

Mejora en la eficiencia, toma de decisiones de manera automatizada, análisis de datos, respuestas en tiempo real, ahorro de costos, mantenimiento predictivo y mitigación de riesgos

- **Sensores industriales y adquisición de datos DAQ**

En sistemas industriales, los sensores y sistemas de adquisición de datos (DAQ) son fundamentales para el monitoreo y control de procesos. Los sensores o captadores son los dispositivos analógicos encargados de convertir las magnitudes físicas en señales eléctricas, mientras que los sistemas de adquisición de datos DAQ convierten estas señales en datos digitales para su análisis y procesamiento.

- **Internet de las cosas (IoT) en monitoreo Industrial**

El Internet de las Cosas (IoT) aplicado al monitoreo industrial se lo conoce como IIoT (Internet Industrial de las Cosas), permite conectar dispositivos y sensores a la red local o internet para capturar, realizar análisis y compartir información o datos en tiempo real del funcionamiento de las máquinas y procesos industriales para mejorar la eficiencia, optimizar las operaciones, predecir fallas con anticipación adecuada, entre otros beneficios.

- **Plataformas de visualización y análisis de datos industriales**

En el área industrial, las plataformas de visualización y análisis de datos permiten a las empresas tener la capacidad de monitorear, analizar y optimizar procesos en tiempo real, facilitando la identificación de los problemas, mejorando significativamente la productividad, eficiencia y toma de decisiones.

Según la UNIR las plataformas de monitoreo y análisis de datos de mayor aceptación son: Tableau, Power BI, Looker Studio, Domo . (UNIR, 2025)

- **Protocolos de comunicación Industrial.**

En redes industriales, los protocolos Modbus, MQTT y OPC UA son ampliamente utilizados, cada uno con sus ventajas y desventajas que se emplean según las aplicaciones de diseño y necesidades en las plantas industriales.

2.1.3. Principios de funcionamiento y tipología de Separadoras de Crudo Combustible.

- **Procesos de separación de crudo: fundamentos físicos y químicos**

En la industria petroquímica existen varios tipos de procesos utilizados para separar el petróleo de sus componentes asociados con el crudo que se extrae desde los pozos como son agua, lodos, gases y arena, estos métodos son la destilación fraccionada, la extracción con solventes, la separación por membrana y por centrifugado.

- **Tipos de separadoras.**

Separadoras Bifásicas, separadoras Trifásicas, separadoras Horizontales y Verticales, separadoras ciclónicas, separadoras centrífugas de platos. (GEA, 2024)

- **Parámetros operativos críticos y condiciones de falla**

Los parámetros operativos críticos en las separadoras centrífugas según el manual de operación entregado por Westfalia son los siguientes. (Manuales_WF1 U0xx21 osc50, 2003)

Temperatura: Alarma de máxima temperatura 105 °C

Alarma de vibraciones: alta 4.5 mm/s, parada 7 mm/s

- **Mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo en separadoras**

El mantenimiento preventivo y correctivo de las separadoras en OCP Ecuador se ejecuta conforme las recomendaciones escritas por el fabricante GEA Westfalia ubicados en el

sistema ERP que emite las órdenes de trabajo de manera automática programado por horas de funcionamiento y por horas del lubricante y del análisis de los especialistas de mantenimiento predictivo o de condición. (OCP, EAM, 2025)

2.1.4. Diagnósticos de fallas mecánicas en Equipos Críticos de Oleoducto de Crudos Pesados

- **Clasificación de fallas mecánicas**

Las fallas mecánicas se clasifican en incipientes, leves, graves y catastróficas

Fallas incipientes: Son fallas cuya tendencia identificada en los análisis de técnicas predictivas eléctricas y mecánicas se encuentra por sobre el nivel de línea base.

Fallas leves: Son fallas que se encuentran ligeramente por sobre valores de alarma de primer nivel o alarmas de nivel alto.

Fallas graves: Son fallas que superan los niveles de alarma de segundo nivel o de alarma de nivel alto-alto, en este nivel se configuran los dispositivos de seguridad de las máquinas para que detengan su funcionamiento.

Fallas catastróficas: Son fallas no tolerables y por ningún motivo deben operar las máquinas en esas condiciones.

- **Técnicas de diagnóstico: análisis de vibraciones, termografía, ultrasonido.**

Análisis de vibraciones: Para valorar y diagnosticar fallas en equipos y máquinas rotativas en base al análisis y evaluación en el dominio temporal y de frecuencia utilizando la transformada rápida de Fourier de señales de vibración capturadas por sensores de vibración.

Termografía: Técnica que emplea equipos de procesamiento de imágenes con sensores de energía infrarroja para detectar a distancia cambios importantes en la temperatura de componentes internos en equipos o dispositivos mecánicos o eléctricos para evaluar la condición.

Ultrasonido: El ultrasonido pulso Echo que se utiliza para medir espesores o flujos y la tecnología de ultrasonido pasivo o de aire estructura para evaluar y medir fugas de gases, fricción mecánica, efectos corona, soldaduras, seguimientos y arcos eléctricos en baja, media y alta tensión.

- **Indicadores clave de desempeño (KPIs) para mantenimiento predictivo.**

Los indicadores KPIs son métricas que ayudan a medir tanto la eficiencia como la efectividad de las estrategias de mantenimiento predictivo. Entre los KPIs más comunes tenemos:

Tiempo medio entre fallas (MTBF), Tiempo medio de reparación (MTTR), Porcentaje de Mantenimiento Planificado (PMP), Porcentaje de Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (PMC), Eficacia General del Equipo (OEE), Costo de Mantenimiento por Unidad Producida, Reducción de Fallas No Programadas, Ahorro de Costos y Tasa de Éxito del Mantenimiento Predictivo:

- **Casos comunes de falla en separadoras de crudo**

Entre los problemas más comunes de falla se tiene:

Problemas con instrumentos y válvulas, inestabilidad del proceso, presencia de contaminantes, efecto de pared fría, formación de espuma, fallas en los sistemas de control, fallas en los sistemas de inertización, fallas en los sistemas de lubricación, fallas en los sistemas de soporte y amortiguación mecánica. (Lyon, 2014)

2.1.5. Aplicación de Inteligencia Artificial y Analítica Predictiva en el diagnóstico Industrial.

- **Algoritmos de aprendizaje automático aplicados al monitoreo.**

El aprendizaje automático o Machine Learning (ML), se encarga de analizar y predecir a través de grandes cantidades de datos para generar respuestas válidas y automáticas que brinden soluciones válidas a un problema o cuestión. Dentro de este aprendizaje automático existen los algoritmos, que se entrenan para llegar a ser modelos de aprendizaje automático y estos son: supervisado, no supervisado y por refuerzo.

- **Detección de anomalías y predicción de fallas.**

Para usar un algoritmo de aprendizaje automático para detección de fallas, tenemos que saber aplicarlo y generar aplicaciones, algunas de esas son: Detección de similitudes, clasificación y predicción de valores: (TheBridge, 2025).

- **Integración de IA en sistemas SCADA o DCS**

Al analizar conjuntamente datos históricos y en tiempo real, los modelos tanto de SCADA, DCS e IA pueden detectar patrones de desgaste o fallas incipientes antes que se evolucionen en fallas críticas. Esto permite que el mantenimiento predictivo sea

efectivo, reduciendo el tiempo de inactividad de equipos y maquinaria, optimizando la planificación de recursos y prolongando la vida útil de los activos industriales.

- **Casos de éxito en plantas industriales y en oleoductos**

Las soluciones de IIoT utilizadas en la industria del petróleo y gas, recolectan, analizan y transfieren datos en tiempo real y como resultado se obtiene una imagen precisa del proceso o procesos que se están efectuando, de esta manera se mejora la eficiencia en las operaciones, se reduce el consumo energético e incrementa la rentabilidad. La implementación de soluciones IoT en la industria petrolera incluyen:

Aguas arriba: Mejora la gestión en perforación y extracción minimizando el tiempo no productivo.

Centro de la corriente (Midstream): Mejora la gestión de las flotas, el mantenimiento de las tuberías expuestas y subterráneas, el mantenimiento de maquinaria rotativa y el almacenamiento del producto.

Aguas abajo: Para la optimización del procesamiento y distribución hacia los tanqueros en alta mar y todo el proceso de control y monitoreo de válvulas de seguridad y tuberías. (Shivang, 2024)

2.2 Descripción de la propuesta

a. Estructura general

Figura 8

Diagrama de flujo del sistema de monitoreo inteligente

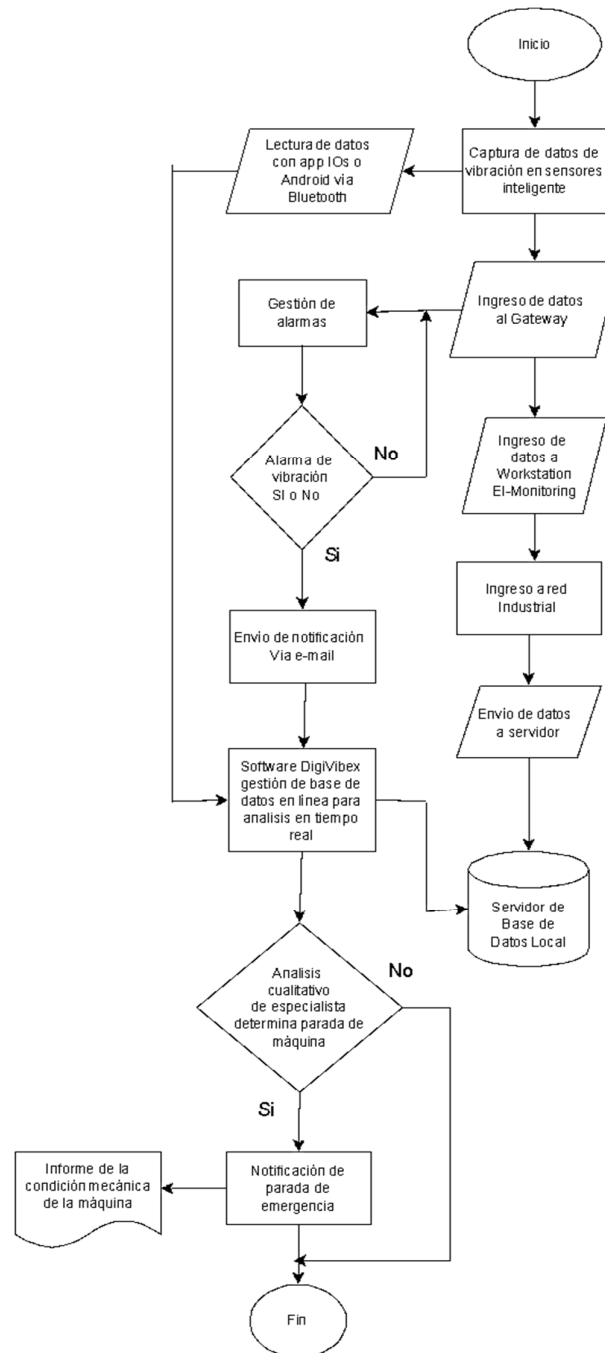
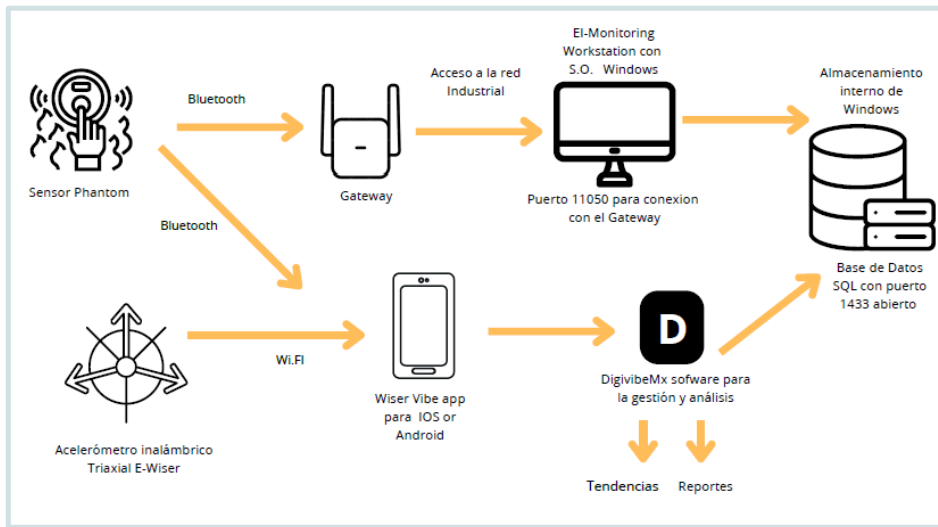


Figura 9

Diagrama de bloques del Sistema de monitoreo.



Nota. Propuesta de un sistema inteligente de monitoreo remoto.

b. Explicación del aporte

Los sensores de vibración inalámbricos triaxiales de bajo consumo energético llamados Phantom se instalarán en las separadoras de manera fija con un perno de sujeción y serán capaces de capturar las señales de vibración de las separadoras en tiempo real y de manera inalámbrica utilizando tecnología Bluetooth enviarán la información hacia un Gateway el cual dirigirá todos los datos hacia un computador o Workstation que será el interfaz entre el software EI-Monitoring y el servidor de la base de datos.

El ingreso al servidor de la base de datos se lo realizará con un computador portátil de los especialistas predictivos quienes analizarán y realizarán el diagnóstico en tiempo real de la condición mecánica de las separadoras.

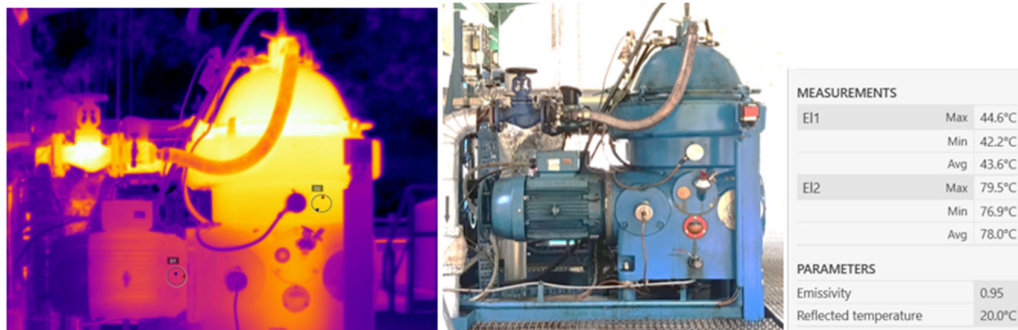
El sistema también se integrará y será compatible con el nuevo equipo analizador de vibraciones portátil que posee un sensor inalámbrico Wi-Fi E-Wiser que emplearán los especialistas de mantenimiento predictivo en las inspecciones trimestrales planificadas.

Sensores inalámbricos.

Los sensores inalámbricos *Phantom* poseen internamente tres acelerómetros integrados con disposición de 90 grados entre sí en los ejes tridimensionales X, Y y Z que captan la vibración mecánica del equipo rotativo que para el caso propuesto son separadoras de crudo combustible. La fuente de alimentación consiste en una batería de litio que tiene una duración media de un año, poseen tecnología de comunicación Bluetooth y tienen integrado un sensor de temperatura. Las señales de vibración analógicas se procesan internamente de manera continua lo que brinda la característica de monitoreo en tiempo real y con salida de señales digitales. Los sensores inalámbricos E-Wiser son también triaxiales con tecnología de comunicación Wi-Fi.

Figura 10

Termografía de la separadora.



La figura 10 presenta una imagen termográfica de la separadora en operación para realizar el análisis de temperatura del bastidor y dimensionar la temperatura de los sensores, el área donde se instalarán los sensores es de máximo 78 °C por lo que los sensores deben poseer una temperatura de operación superior.

Figura 11

Instalación de sensores inalámbricos en las separadora



Gateway

El dispositivo Gateway utilizan dos protocolos inalámbricos (Wi-Fi y BLE 5.0) así como conectividad Ethernet, recibe las señales digitales de los sensores a través de sus antenas y tiene la función de recepción inalámbrica Bluetooth y se conecta a la red industrial Ethernet a través de Switches Stratix con fibra óptica, también posee una aplicación para configuración adicional de parámetros de monitoreo y alarmas que envía a los sensores para modificar las configuraciones de adquisición de datos.

Figura 12

Instalación de la fibra óptica



Figura 13

Instalación de equipos y accesorios para ingreso a la red Industrial



La figura 13 muestra la ubicación de los dispositivos electrónicos inteligentes Gateway y Switch Stratix con fibra óptica en el área de las separadoras

Figura 14

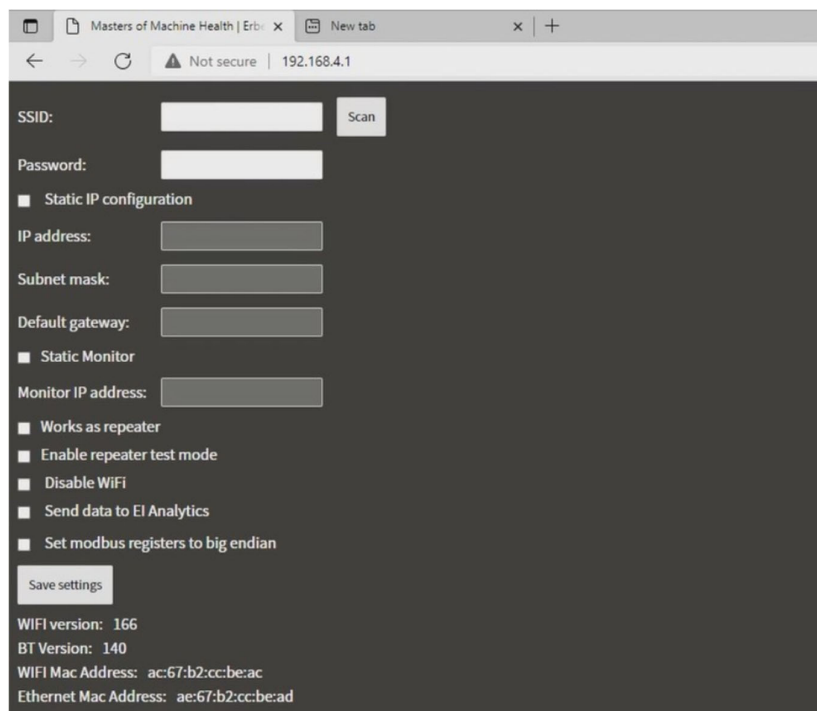
Acceso a la red Industrial



La figura 14 indica el Rack del PLC Principal de campo donde llega la fibra óptica desde las separadoras hacia el Switch de administración Ethernet Stratix 5700.

Figura 15

Configuración del Gateway



IP: 010.104.001.161
MASK: 255.255.255.000
GW: 010.104.001.050

La figura 15 presenta la pantalla de configuración del Gateway a la red ethernet con IP estática.

Workstation y software *EI-Monitoring*

El computador workstation es un equipo industrial diseñado para funcionamiento continuo, recibe la información del Gateway a través de la red ethernet industrial con sistema operativo Windows y el software *EI-Monitoring* qué es el enlace para la recolección de datos entre el Gateway y los sensores inalámbricos Phantom, visualiza los datos recibidos de los sensores y las configuraciones y transforma la información del monitoreo continuo en bloques de datos para enviar al servidor de base de datos. La configuración de red es la siguiente:

IP: 010.104.001.160
MASK: 255.255.255.000
GW: 010.104.001.050

Figura 16

Software EI-Monitoring en el Workstation. (Información y eventos)

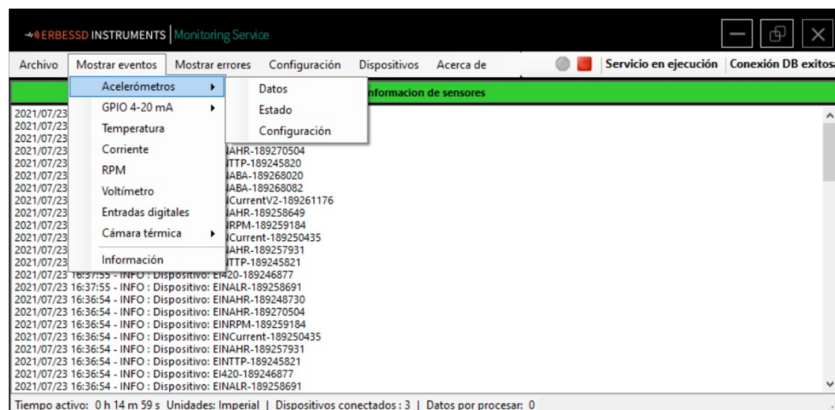
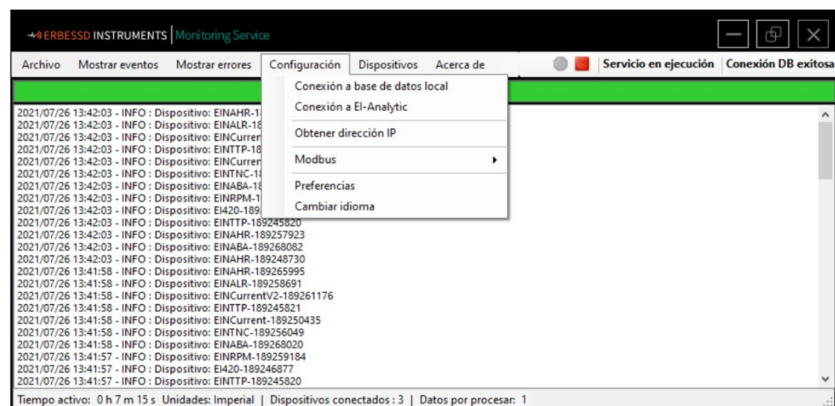


Figura 17

Software EI-Monitoring en el Workstation. (Configuración)



Servidor de base de datos

Es un computador con altas prestaciones computacionales como almacenamiento de grandes volúmenes de datos, elevado procesamiento de información, velocidad muy alta de entrada y salida de datos y disponibilidad 24/7. El servidor se encuentra conectado a la red Ethernet industrial y almacena todos los datos provenientes del monitoreo continuo en la base de datos SQL y tiene la capacidad de lectura y escritura de manera continua para que los especialistas de mantenimiento predictivo tengan acceso de manera permanente y realicen los diagnósticos de problemas mecánicos en línea.

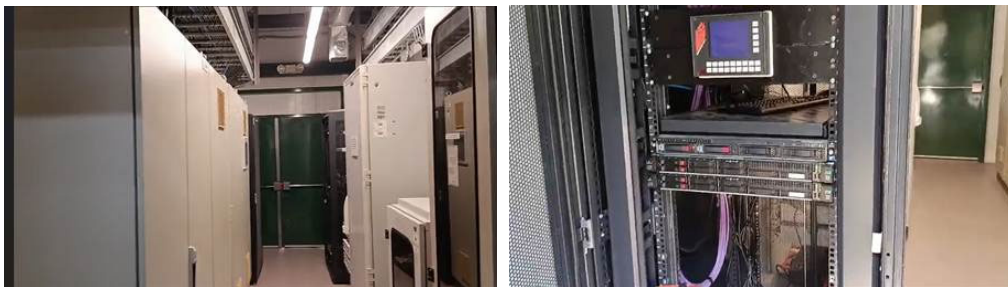
La direcciones y configuración de la red del servidor de base de datos son las siguientes

Host: OCP104VIB1-HOST
IP: 010.104.001.159
MASK: 255.255.255.000
GW: 010.104.001.050

Host ILO: OCP104VIB1-ILO
ILO: 010.104.001.173

Figura 18

Servidor de base de datos.



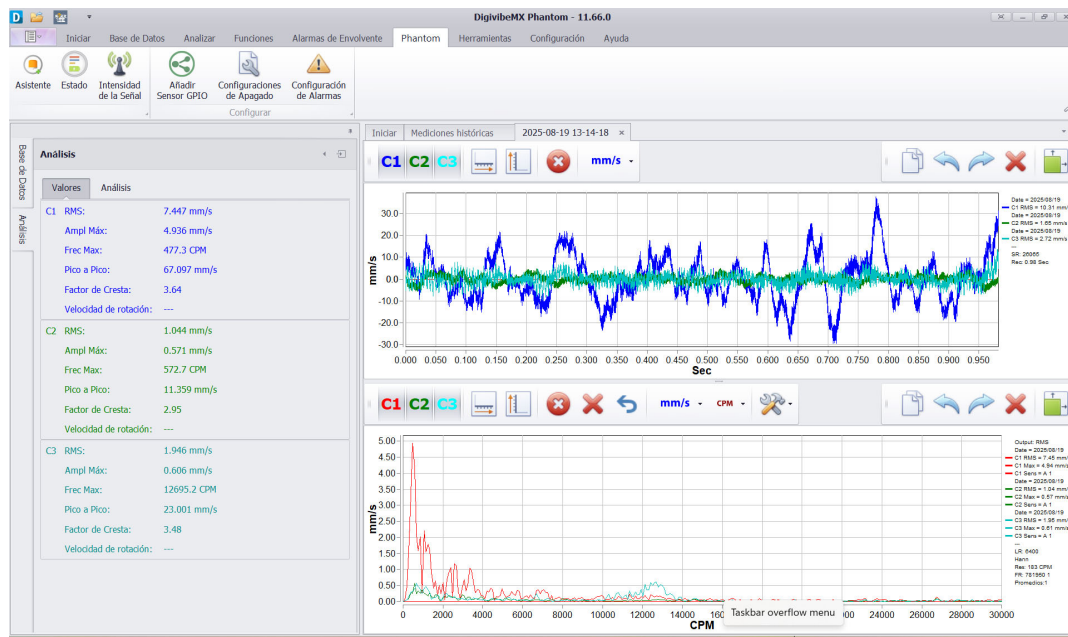
En la figura 18 se observa el cuarto de control climatizado donde se encuentra el servidor de base de datos en el rack de comunicaciones de la estación Páramo PS4

DigivibeMX

Es un Software que se instala en los computadores portátiles de los especialistas predictivos y permite acceder al servidor de base de datos por la red ethernet, red Wi-Fi industrial o internet para monitoreo, análisis y diagnóstico de vibración de las separadoras de crudo combustible que se encuentra en el sistema de monitoreo en línea.

Figura 19

Software DigivibeMX.

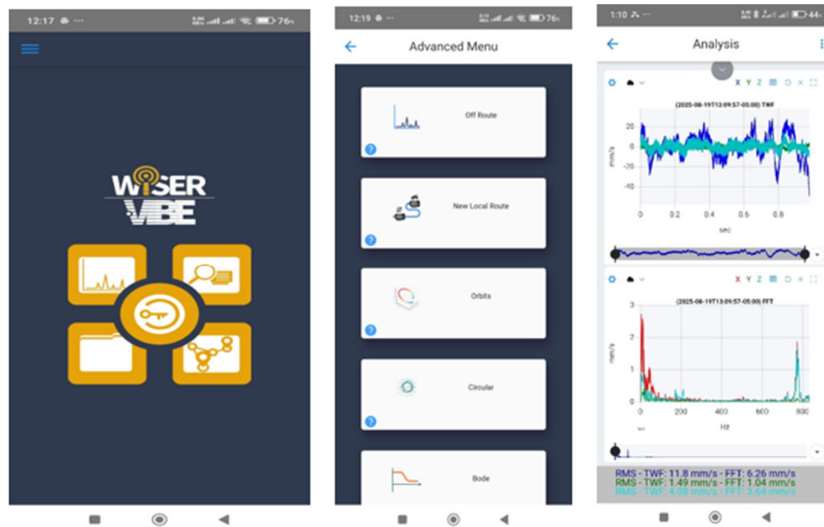


Wiser Vibe

Es un software desarrollado para dispositivos electrónicos móviles compatible con Android o IOS. Las señales de los sensores inalámbricos también pueden ser captadas por dispositivos móviles como teléfonos inteligentes o tablets por medio de Bluetooth en el caso de los sensores en línea Phantom o mediante Wi-Fi en el caso de los acelerómetros portátiles triaxiales inalámbricos de monitoreo periódico E-Wiser, estas señales son almacenadas en los dispositivos móviles y enviadas a los computadores de los especialistas que poseen el software de análisis y también se destinan al servidor de base de datos que discriminará por fecha y hora para su respectivo almacenamiento.

Figura 20

Aplicación móvil Wiser Vibe



Actividades de evaluación

Los especialistas predictivos son los encargados de gestionar la información de la base de datos para realizar el análisis y diagnóstico de la condición mecánica de las separadoras especialmente cuando se notifique por vía e-mail una alarma de posible falla mecánica que es necesario evaluar de manera inmediata, el sistema en línea permitirá adquirir la información en tiempo real y el diagnóstico será comunicado al supervisor de la estación indicando la parada o no de la máquina por vía telefónica, radio UHF y correo electrónico. Se emitirá posteriormente el informe detallado con el análisis cualitativo y cuantitativo de la falla encontrada.

c. Estrategias y/o técnicas

Las estrategias y técnicas utilizadas en el proyecto son las siguientes:

Estudio de equipos a monitorear: Se realizó una investigación de los equipos rotativos que son necesarios realizar el monitoreo en línea por los costos elevados de mantenimientos correctivos no planificados y paradas súbitas debido a fallas ocultas o de evolución de fallas en el tiempo muy rápidas y se determinó que las separadoras de crudo combustible son las máquinas que con mayor frecuencia se realizan mantenimientos correctivos ya que poseen un sistema de monitoreo de vibraciones antiguo y es necesario implementar un nuevo sistema de monitoreo en línea.

Investigación de soluciones: Se realizó una investigación de las soluciones actuales en el mercado para optimizar el sistema de monitoreo, los datos que se necesita obtener, los sensores y equipos complementarios, la integración a la red industrial y el acceso remoto utilizando las nuevas tecnologías, en esta etapa se definió el alcance del proyecto y los objetivos.

Selección de tecnologías e infraestructura: En esta etapa se realizó la selección de los sensores, equipos electrónicos inteligentes y hardware que formarán parte del proyecto, asegurando la compatibilidad con la red industrial y con la arquitectura de comunicación. Se realizaron reuniones técnicas con diferentes proveedores para evaluar costos y beneficios.

Dimensionamiento de los sistemas de información: En conjunto con los diferentes especialistas de IT, Scada, Telecomunicaciones y operadores de la planta, se procedió a definir la arquitectura que se utilizará para la comunicación eficiente entre los sensores, el Gateway IoT, la red Scada, Internet, el procesamiento y almacenamiento de los datos, dimensionando la capacidad del servidor de base de datos y los accesos remotos

Diseño del sistema: Para el diseño final se realizó la integración de tecnologías tanto de Hardware como de Software con interfaces intuitivas, amigables, estandarizadas y con una complejidad mínima para que los especialistas y usuarios del sistema logren acceder, visualizar, configurar y analizar las variables de vibración de manera idónea y en el menor tiempo posible.

Seguridad Informática: Para proteger los accesos al sistema de monitoreo, la confidencialidad e integridad de la información, el sistema se incorpora a las políticas de seguridad informática internas de la empresa tales como antivirus, firewall y accesos restringidos.

Seguridad industrial: El área industrial de las separadoras de crudo combustible pertenece a la Clase 1, División 2 (*entorno de trabajo donde se encuentran gases o vapores inflamables en contenedores sellados sin llegar a formar atmósfera explosiva*) por lo que el sistema de sensores, el Gateway la fuente de alimentación deben poseer las características físicas especiales o en su defecto adaptar las condiciones necesarias para la instalación segura.

Pruebas y validación: Realizar todas las pruebas necesarias del nuevo sistema de monitoreo en línea para garantizar las conexiones físicas, verificar envío y recepción de señales y datos de manera inalámbrica, verificación de envío y recepción de información hacia el servidor de base de datos mediante el protocolo de comunicación de red TCP/IP y la visualización de gráficos con

el software de análisis de vibraciones tanto en la red interna en la planta como de manera remota.

2.3 Validación de la propuesta

Tabla 3

Validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Diego Ramiro Angulo Padilla	27	Ingeniero en Sistemas – Magister en Gerencia de TI	Coordinador TIC OCP Ecuador S.A.
Angel Vicente Hurtado Rea	25	Ingeniero Mecánico	Supervisor de Mantenimiento Predictivo. OCP Ecuador S.A.
Wilson Oswaldo Gomez Valdez	20	Ingeniero Electrónico en Automatización y Control-MBA	Ingeniero Scada y Redes Industriales OCP Ecuador S.A.

El trabajo de investigación presentado pasó por una evaluación de especialistas con experiencia de muchos años en el sector industrial en áreas de mantenimiento eléctrico, mecánico, predictivo, automatización, tecnologías de información y telecomunicaciones. El aporte de los especialistas resultó de gran beneficio para el proyecto porque se logró identificar y plantear mejoras y soluciones adecuadas en el desarrollo del sistema, resolviendo los problemas identificados para mejorar la capacidad de análisis y monitoreo con tecnología actual para lograr a corto o mediano plazo extender a otros equipos críticos. Se evaluó el impacto tecnológico, económico, ambiental y energético que representa en la empresa el nuevo sistema.

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

Tabla 4.

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1 Selección de equipos, accesorios, Hardware y software	1.1. Revisión y análisis de hojas de datos de los equipos 1.2. Análisis de costos y factibilidad 1.3. Análisis de compatibilidad en red industrial, protocolos de comunicación, funcionalidades y actualizaciones.	Equipos electrónicos inteligentes Comunicaciones Inalámbricas Big Data. Comunicaciones de red industrial Plataformas de análisis de vibraciones.	Los equipos y plataformas de software seleccionados en base al conocimiento avanzado de análisis de vibraciones y el asesoramiento de especialistas en comunicaciones de campo, IT y seguridad hizo posible que se cumpla con los requerimientos del sistema
2 Diseño: Equipos electrónicos de comunicación, aplicaciones, interfaces, configuración.	2.1. Sensores de vibración Triaxiales inalámbricos y Gateway 2.2. Comunicación Ethernet entre equipos 2.3. Enlace de fibra óptica 2.5 Aplicación de análisis de vibraciones	Descripción gráfica en diagrama de bloques de los equipos del sistema. Configuración de sensores y Gateway Instalación y configuración de aplicación de interfaz entre Gateway y servidor. Instalación de aplicaciones de recolección de datos y análisis de vibraciones en dispositivos móviles y laptop.	Sensores, Gateway y equipos de computación fijos y portátiles fueron habilitados en la red ethernet y configurados para su funcionamiento adecuado de manera que las interfaces gráficas visualicen los datos de vibración correctamente en tiempo real.

	Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
3	Implementación: Cableado, sistemas de comunicaciones, aplicaciones IoT, bases de datos, estructuras físicas, políticas de seguridad informática.	3.2. Antenas, transmisores y receptores de comunicaciones inalámbricas, por cable y por Fibra óptica 3.3. Aplicaciones de bases de datos 3.4. Instalaciones eléctricas de control o comunicaciones	Cableado estructurado, fibra óptica, instalaciones eléctricas industriales, sistemas de comunicaciones. Instalación y configuración de bases de datos. Instalación y configuración de aplicaciones de análisis de vibraciones. Protocolos de comunicación Aplicación de políticas de seguridad informática.	Los equipos electrónicos inteligentes como sensores y Gateway inalámbricos se instalaron en el área industrial clase 1 división 2, la comunicación hacia la red industrial ethernet se realizó por fibra óptica, el servidor de base de datos y el computador Workstation se encuentran conectados a la red, El Workstation se encarga de recibir los datos del Gateway y enviar los bloques de información al servidor de base de datos a la cual se accede para despliegue de información de análisis de vibraciones a través de la plataforma DigivibeMX instalada en computadores portátiles de manera local en la red o de manera remota por internet.

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

La implementación de dispositivos electrónicos inteligentes tales como sensores y Gateway inalámbricos, equipos y accesorios de conexión a la red industrial, el Hardware y software empleados para la integración de la solución de monitoreo en línea de vibraciones mecánicas en las separadoras de crudo combustible se ha realizado de forma satisfactoria en virtud de la selección adecuada de los diferentes elementos, la configuración e instalación correcta y la comunicación y almacenamiento de datos eficiente.

Figura 21

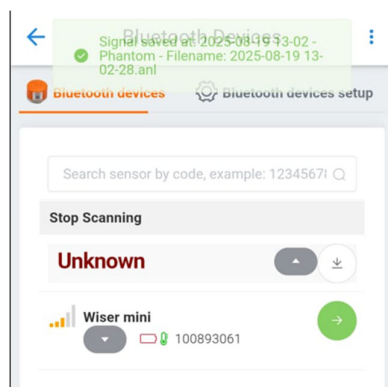
Sensor inalámbrico Bluetooth en sitio.



La figura 21 presenta la disposición de los ejes triaxiales del sensor, dirección (X) Axial, dirección (Y) Radial y dirección (Z) Tangencial.

Figura 22

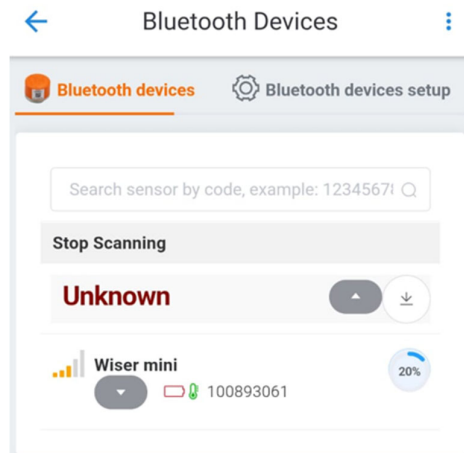
Reconocimiento del Sensor inalámbrico Bluetooth.



La figura 22 indica el emparejamiento y reconocimiento del sensor al sistema Phantom a través de comunicación Bluetooth.

Figura 23

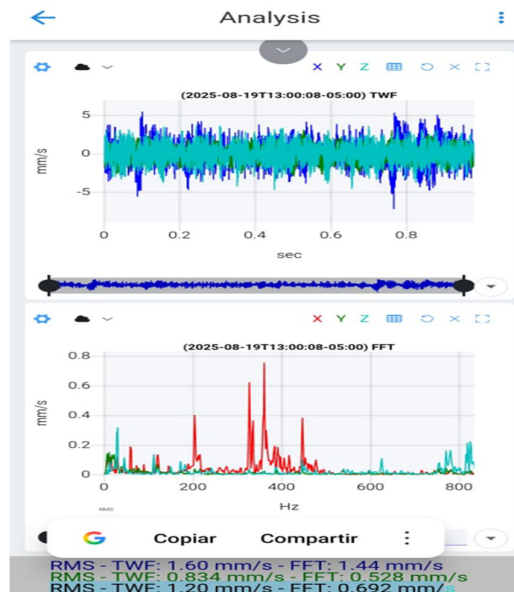
Toma de datos de vibración.



La figura 23 presenta el avance en porcentaje de la toma de datos de las señales de vibración. Las señales se almacenan periódicamente según la configuración del tiempo que se indique.

Figura 24

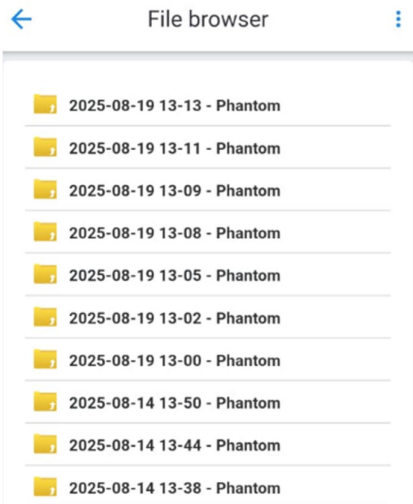
Verificación de la adquisición de señales.



La figura 24 presenta una visualización de las señales en el tiempo y en el espectro FFT recolectadas en los registros de datos.

Figura 25

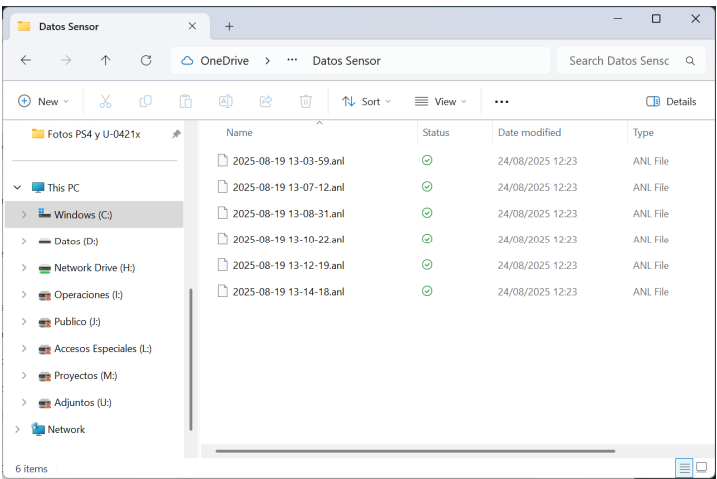
Verificación de los registros almacenados.



La figura 25 muestra los registros de datos que se guardan cada cierto tiempo en la base de datos de manera ininterrumpida según la configuración de adquisición de datos establecida que puede configurarse en segundos, minutos u horas dependiendo de la necesidad requerida.

Figura 26

Registros almacenados para cargar al software de análisis de vibraciones



La figura 26 muestra los registros de la base de datos por fecha y hora que se pueden cargar en el Software de análisis de vibraciones para el diagnóstico de la separadora en tiempo real.

Figura 27

Menú de administración de base de datos en el Software DigivibeMX

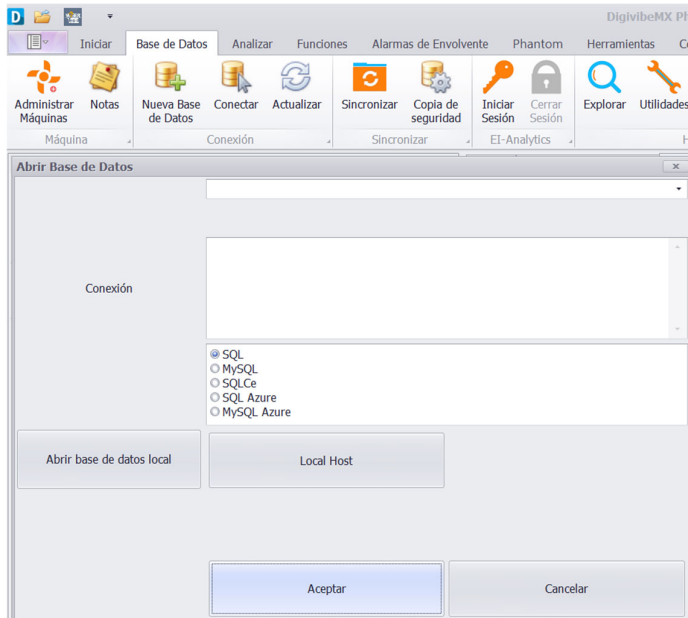


Figura 28

Menú de configuración de alarmas en sensores

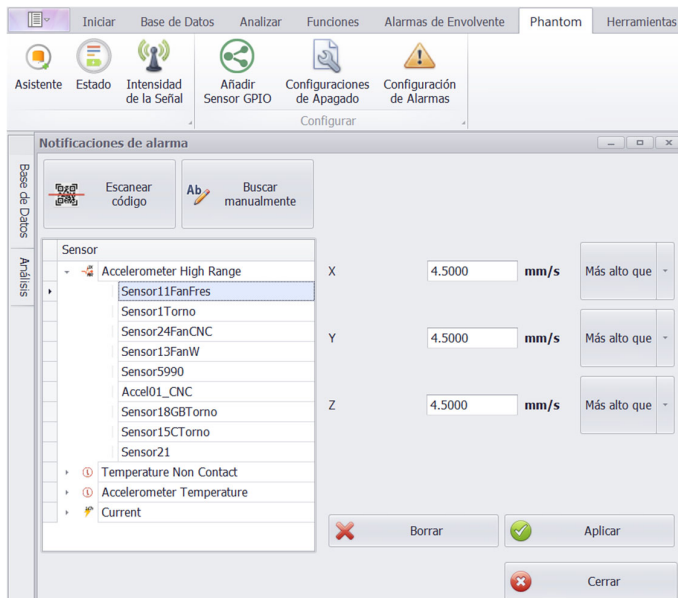
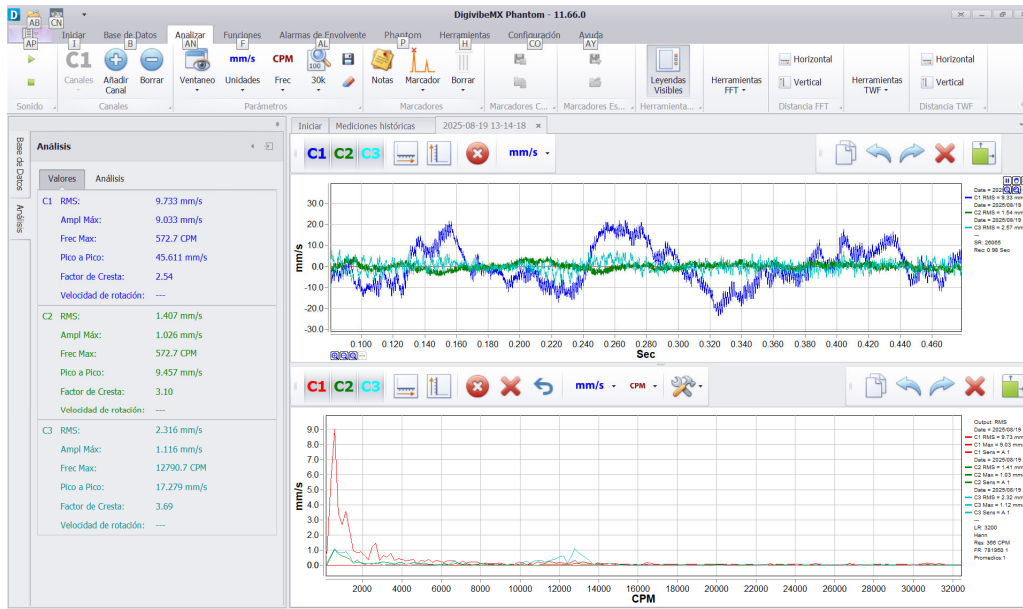


Figura 29

Análisis de vibración de los registros almacenados del sensor de la separadora.



La figura 29 muestra la visualización de la pantalla general de las tres señales de vibración en el dominio temporal y en el espectro de frecuencias.

Figura 30

Análisis de vibración de la dirección X (Axial) del sensor de la separadora.

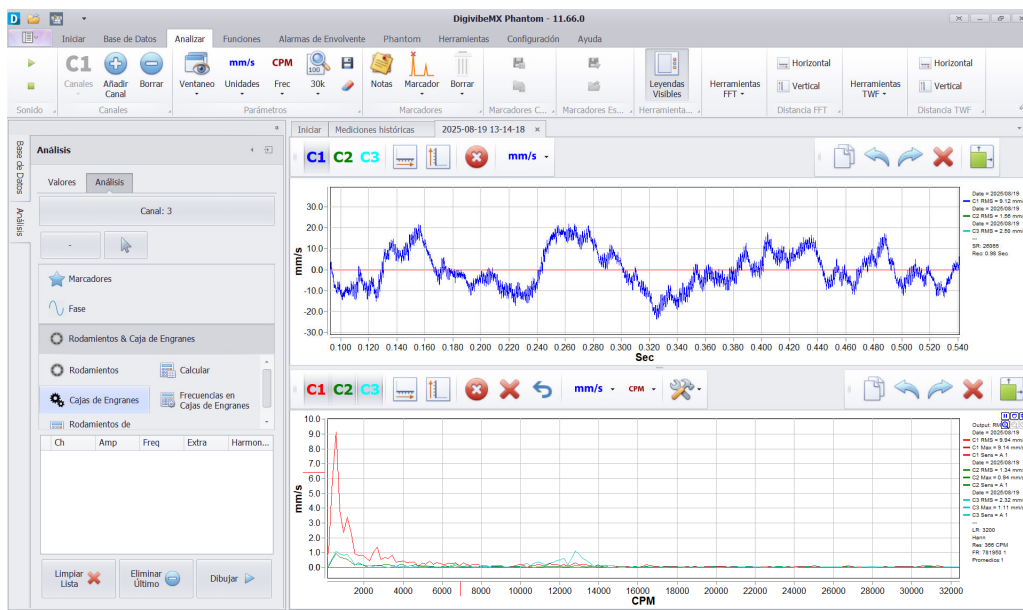


Figura 31

Análisis de vibración de la dirección Y (Radial) del sensor de la separadora

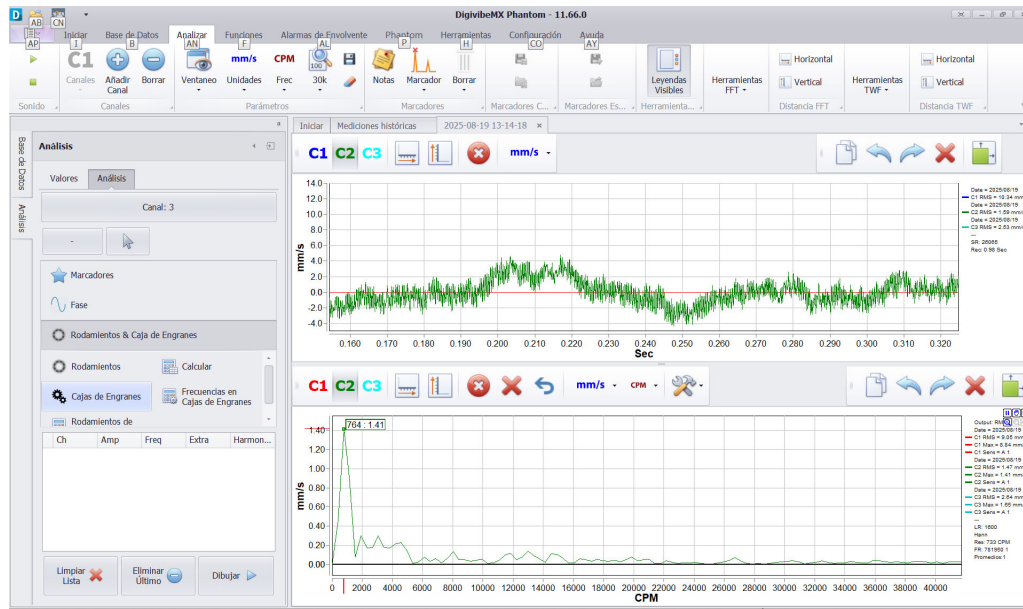


Figura 32

Análisis de vibración de la dirección Z (Tangencial) del sensor de la separadora

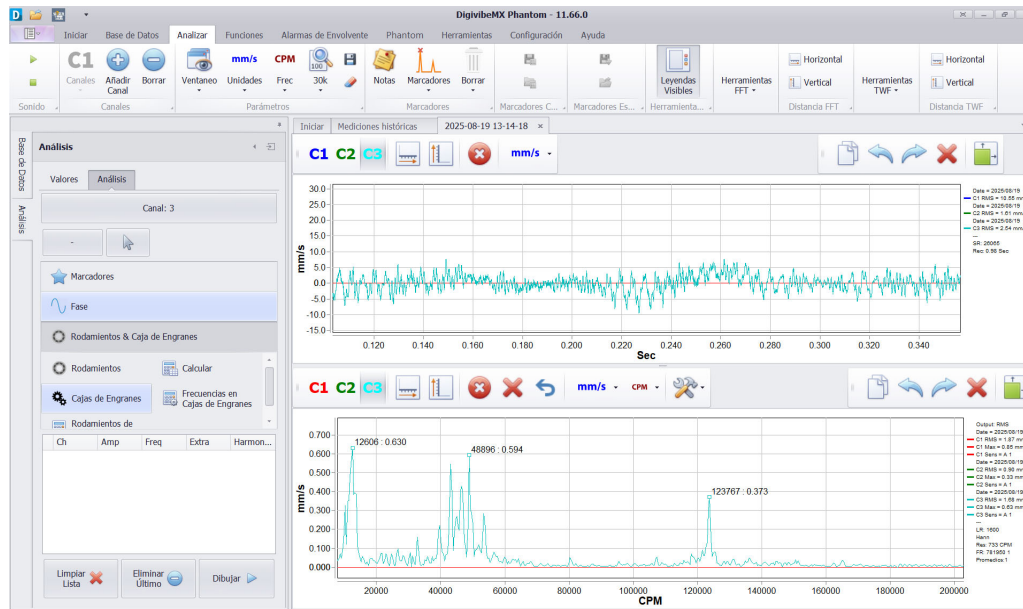


Figura 33

Análisis de vibración de los registros almacenados del sensor del motor.

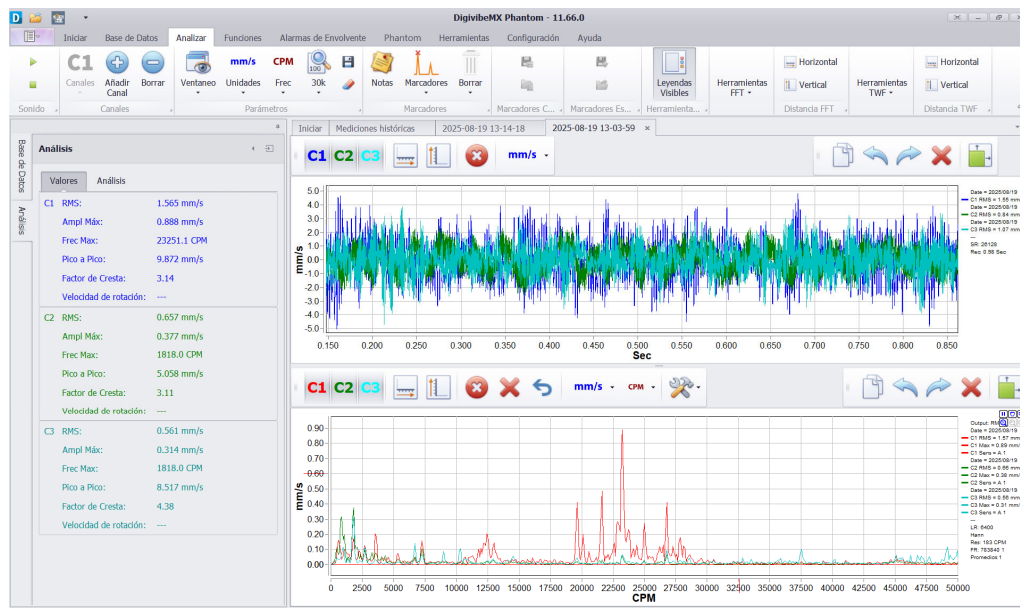


Figura 34

Análisis de vibración de la dirección X (Axial) del sensor del motor

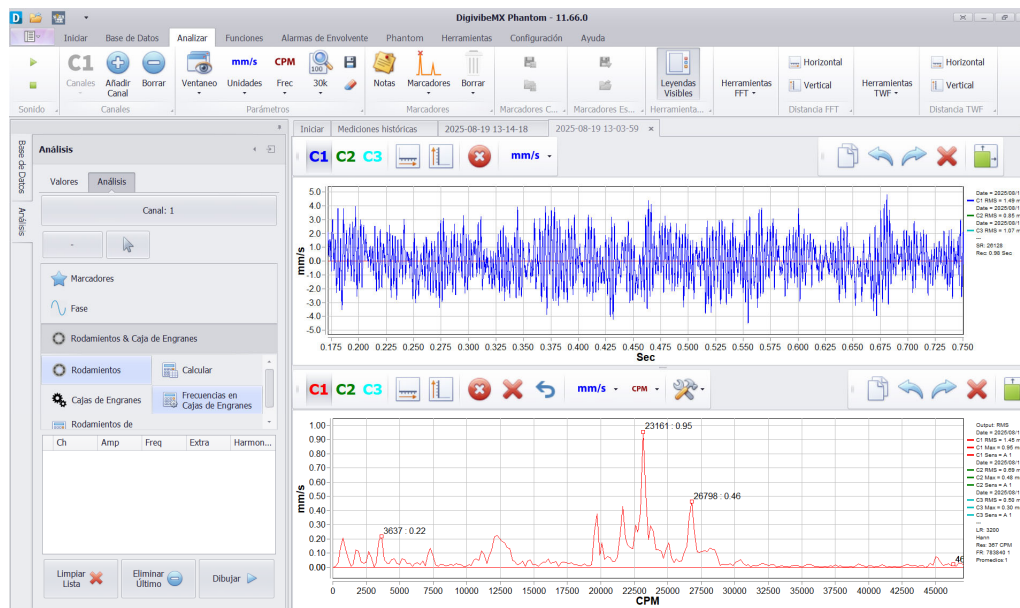


Figura 35

Análisis de vibración de la dirección Y (Radial) del sensor del motor

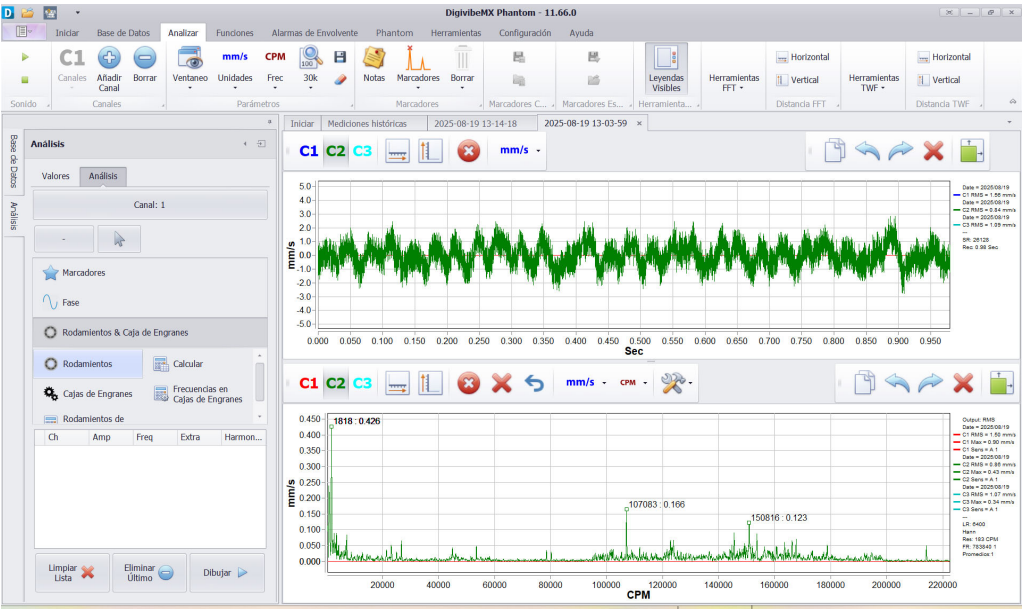
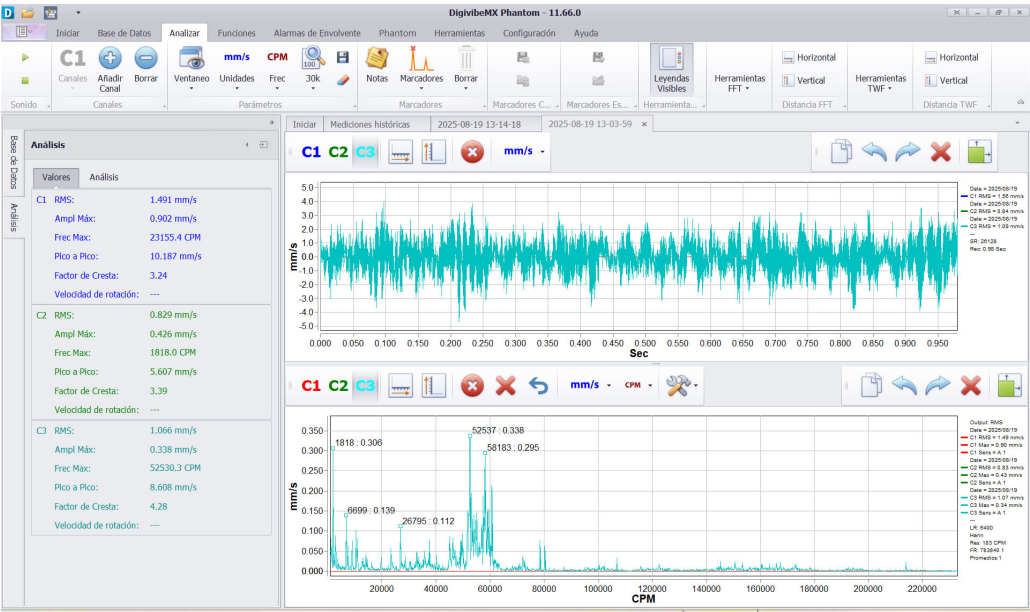


Figura 36

Análisis de vibración de la dirección Z (Tangencial) del sensor del motor



Las figuras 29 a la 36 indican las pantallas con los principales parámetros de vibración en mm/s con valores RMS en la parte izquierda y en la parte derecha las gráficas dinámicas para observar en el tiempo y en la frecuencia los diferentes comportamientos de las señales en las direcciones, axial, radial y tangencial, optimizando el análisis con las opciones predefinidas para realizar el diagnóstico de la máquina en tiempo real evaluando las diferentes frecuencias de falla, valores de alarma con el standard de severidad de vibración ISO 10816 y aplicando el conocimiento y experiencia del especialista de mantenimiento predictivo.

Se observa que las señales de vibración en tiempo real proporcionan información completa del comportamiento de la máquina.

La revisión y análisis de resultados también se puede realizar enviando los datos que capturan los sensores a la nube EI-Analytic del proveedor. Las opciones son limitadas con respecto al Software DigivibeMX sin embargo es una herramienta muy útil para análisis remoto

Figura 37

Carga de datos a la nube EI-Analytic.

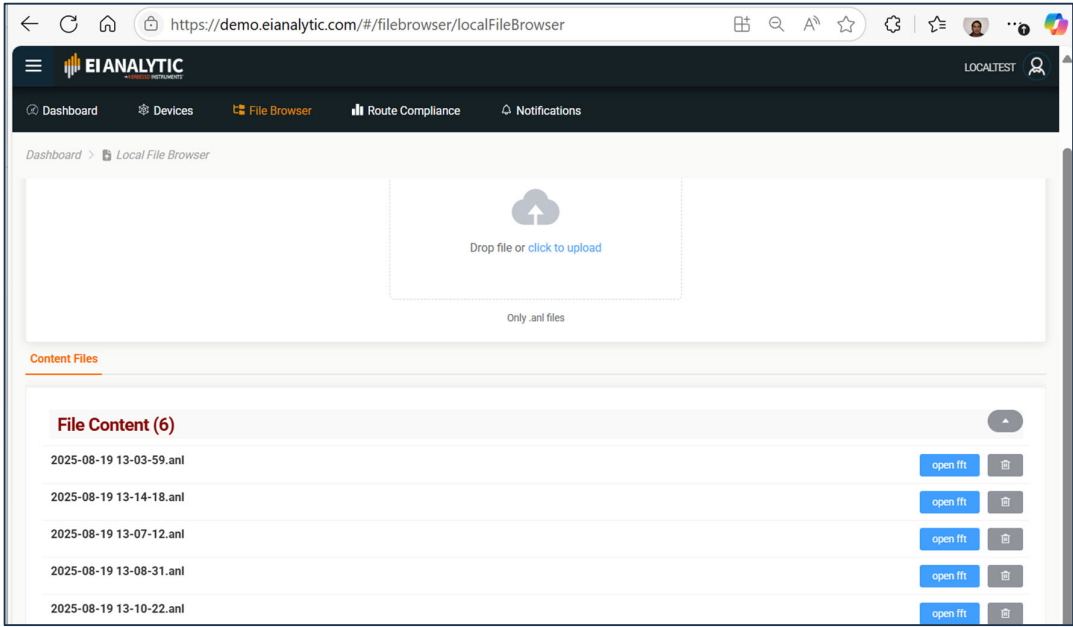


Figura 38

Análisis de vibraciones de la separadora en la nube El-Analytic.

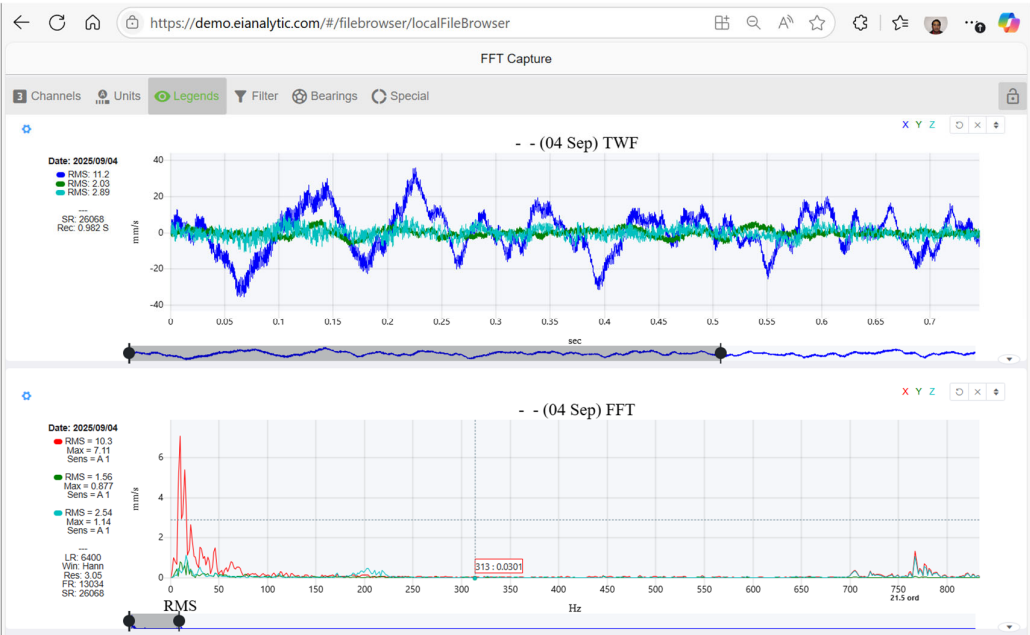
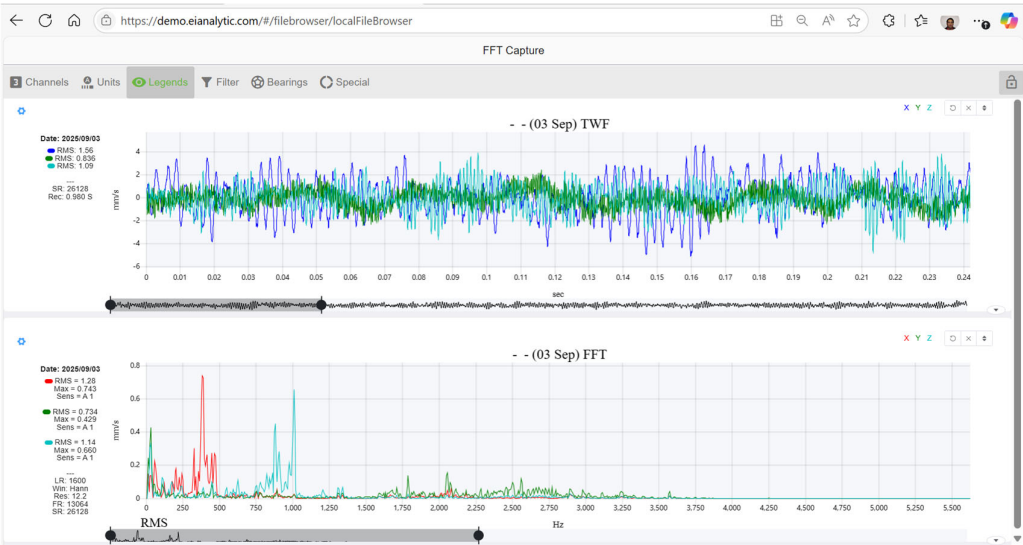


Figura 39

Análisis de vibraciones del motor en la nube El-Analytic.



CONCLUSIONES

- Diseñar, desarrollar e implementar el nuevo sistema de monitoreo en línea ha sido posible gracias a la adecuada selección de los dispositivos con la tecnología de vanguardia que ha posibilitado la comunicación eficiente en la red industrial ethernet, el almacenamiento de la información de manera segura, el acceso a la información con herramientas informáticas efectivas que han facilitado, automatizado y optimizado el tiempo de análisis de los datos para un adecuado y rápido diagnóstico de las fallas mecánicas en las separadoras de crudo combustible.
- Los fundamentos teóricos contextualizados ayudaron a comprender de mejor manera la forma de enfocar la implementación del sistema para aprovechar los avances tecnológicos existentes en equipos de monitoreo con prestaciones de bajo consumo energético, velocidad de procesamiento elevada y plataformas con interfaces amigables, intuitivos y eficientes.
- Se determinó la situación real de las fallas mecánicas en las separadoras de crudo combustible al analizar e investigar la información de históricos de mantenimiento, de alarmas y de mantenimientos no planificados que implican costos no presupuestados por paradas no planificadas por poseer un sistema de monitoreo antiguo y limitado.
- Se ha implementado el prototipo del sistema de monitoreo en línea con pruebas iniciales en el laboratorio de Quito y posteriormente se realizó pruebas en sitio recolectando datos en una de las dos separadoras de la estación Páramo que posteriormente al complementar la compra de licencias, sensores y Hardware se realizará la instalación y pruebas finales en las dos separadoras.
- Se procedió con la adecuación del cuarto de control para el servidor, instalación de accesorios y fibra óptica de enlace a la red de los sensores y Gateway, verificación de sistema de tierras en gabinetes eléctricos para eliminar ruido electromagnético y seguir los lineamientos de seguridad industrial en la planta.
- Se realizó las pruebas de funcionamiento del sistema de manera exitosa conforme lo esperado con resultados adecuados y eficientes, especialistas en sistema Scada, IT, mantenimiento y automatización realizaron la validación del prototipo en la etapa de diseño y en la etapa de pruebas con lo cual gracias al impacto generado es posible a futuro extender a las otras tres estaciones de bombeo con un costo menor ya que la infraestructura de almacenamiento de datos tiene la capacidad de soportar el flujo de información adicional.

RECOMENDACIONES

- El sistema de monitoreo inteligente implementado posee la escalabilidad para adaptarse a un proceso de inteligencia artificial por lo que es importante continuar con el tratamiento de datos almacenados y explotar las funcionalidades existentes para que cuando transcurra un año se entrene un agente del sistema CBM de OCP Ecuador y complemente el análisis y diagnóstico mejorando la parte predictiva con información de daños comunes, daños ocultos, mantenimientos preventivos, mantenimientos correctivos y evaluaciones de diagnóstico periódico o en tiempo real por desgaste, fricción o lubricación.
- El sistema debe ser incorporado para monitoreo de otras máquinas críticas que no tengan sensores de vibración en línea y que con el tiempo se han incrementado los mantenimientos correctivos.
- Es importante que en un futuro inmediato el sistema de monitoreo mejore la seguridad informática y se implemente una red WiFi industrial para que los operadores de planta sean entrenados y ellos tomen datos con un sensor inalámbrico portátil de equipos rotativos que presenten problemas de vibraciones y suban la información a la nube.
- Se debe evaluar con los datos de un mes la cantidad de información grabada en la base de datos para dimensionar de manera real el periodo de recolección automática de datos para calcular la capacidad de generación de información y en cuantos años se necesitará ampliar los dispositivos de almacenamiento del servidor de base de datos.
- Entrenar en el manejo del sistema a todo el personal de mantenimiento predictivo y a un operador de la estación para que tenga la capacidad de manejar y dar soporte al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Controltec. (2024). *controltec*. <https://www.controltec.cl/monitoreo-industrial-evolucion-en-el-tiempo>
- Dongee. (2025). *Cuáles son las características de los sistemas inteligentes? Usos y ventajas para las empresas*. [www.dongee.com. https://www.dongee.com/tutoriales/cuales-son-las-caracteristicas-de-los-sistemas-inteligente/](https://www.dongee.com/tutoriales/cuales-son-las-caracteristicas-de-los-sistemas-inteligente/)
- GEA. (2024). *Separador Centrifugo*. [www.gea.com. https://www.gea.com/es/products/centrifuges-separation/centrifugal-separator/](https://www.gea.com/es/products/centrifuges-separation/centrifugal-separator/)
- IBM. (2025). *IBM.com*. [www.ibm.com. https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0](https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0)
- Lyon, E. y. (2014). [https://ve.scielo.org. https://ve.scielo.org/https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212014000300005#:~:text=Las%20variaciones%20de%20temperatura%20y,en%20el%20fondo%20del%20tanque.](https://ve.scielo.org/https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212014000300005#:~:text=Las%20variaciones%20de%20temperatura%20y,en%20el%20fondo%20del%20tanque.)
- Manuales_WF1 U0xx21 osc50*. (2003). [cpecuador.sharepoint.com. https://ocpecuador.sharepoint.com/](https://ocpecuador.sharepoint.com/)
- Mochuan. (2024). *Mochuan Drives*. [www.mochuan-drives.com. https://www.mochuan-drives.com/es/a-news-the-evolution-of-industrial-control-systems-with-industrial-plc-controllers](https://www.mochuan-drives.com/es/a-news-the-evolution-of-industrial-control-systems-with-industrial-plc-controllers)
- OCP. (2025). *EAM*. [ocpeamp117.ocp-ec.com/. https://ocpeamp117.ocp-ec.com/web/base/COMMON](https://ocpeamp117.ocp-ec.com/web/base/COMMON)
- OCP. (2025). [ocpecuador.sharepoint.com.](https://ocpecuador.sharepoint.com/) [ocpecuador.sharepoint.com. https://ocpecuador.sharepoint.com/](https://ocpecuador.sharepoint.com/)
- Registro Oficial. (2010). *ambiente.gob.ec*. [www.ambiente.gob.ec. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ambiental-de-Actividades-Hidrocarburi%CC%81feras.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ambiental-de-Actividades-Hidrocarburi%CC%81feras.pdf)
- Registro Oficial. (2023). *Ley de Hidrocarburos Ecuador*. [www.geoenergia.gob.ec/. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/17_Ley_Hidrocarburos.pdf](https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/17_Ley_Hidrocarburos.pdf)
- Sabido, L. (2024). [www.erbessd-instruments.com. erbessd-instruments.com. https://www.erbessd-instruments.com/es/phantom-gen-3/](https://www.erbessd-instruments.com/es/phantom-gen-3/)
- Seguridad360. (2024). *revistaseguridad360*. [https://revistaseguridad360.com. https://revistaseguridad360.com/noticias/seguridad-industrial/monitoreo-en-tiempo-real-de-riesgos-industriales-mejores-practicas-y-tecnologias-innovadoras/](https://revistaseguridad360.com/noticias/seguridad-industrial/monitoreo-en-tiempo-real-de-riesgos-industriales-mejores-practicas-y-tecnologias-innovadoras/)
- Shivang. (2024). *IoT en la Industria del petroleo*. [https://richestsoft.com. https://richestsoft.com/es/blog/use-cases-of-iot-in-oil-gas-industry/](https://richestsoft.com/es/blog/use-cases-of-iot-in-oil-gas-industry/)

TheBridge. (2025). *thebridge.tech*. [thebridge.tech/blog/algoritmos-aprendizaje-automatico.
https://thebridge.tech/blog/algoritmos-aprendizaje-automatico/](https://thebridge.tech/blog/algoritmos-aprendizaje-automatico/)

UNIR. (2025). *ecuador.unir.net*. [ecuador.unir.net.
https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/mejores-herramientas-visualizacion-datos/](https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/mejores-herramientas-visualizacion-datos/)

Reliability Direct. (2025.)

<https://www.reliabilitydirectstore.com/articles.asp?id=122>

Zapata Segovia, C. F. (2024). *Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo para Dispositivos Electrónicos Inteligentes integrados en una Red Smartwire-dt a través de una Plataforma web*. [Tesis de Maestría]. Universidad Israel

ANEXO 1

FICHA DESCRIPTIVA DE FRECUENCIAS DE FALLA DE SEPARADORAS DE CRUDO

MID 12				Crude Oil Westfalia							
TAG U-121,221,321,421				OSC 50-91-066							
Serial Number:				Operation Condition:							
Location:											
RPM 1745											
30 KW											
DRIVER				INTERMEDIATE OR AUXILIARY				DRIVEN			
ITEM	DESCRIPTION	ELEM	ORDER	ITEM	DESCRIPTION	ELEM	ORDER	ITEM	DESCRIPTION	ELEM	ORDER
X	Motor Shaft	1	1.00		Clutch Coupling	6	6.00		Bowl Shaft	1	3.75
					Worm Wheel Gear	60	60.00		B-M		2.75
	brg 6311/C3				Worm Spindle Gear	16			B+M		4.75
	brg 6311/C3							4XB	Bowl elements = 4XB	4	15.00
	Fan motor	12	12.00		Frec caza de dientes	0.25		a	6211	1	
								a extr	3208	1	
							b	7306	2		
							c	6211	1		
first 1500 hours review oil level, temperature, pressure, leakage, vibration, current consumption and starting time El fabricante sugiere 2.8 mm/s de vibración (12) Crude Oil Westfalia Separator MOTO, SEPARATOR Vibration levels 4.5 mm/s 7.0 mm/s											

ANEXO 2

TABLA DE SEVERIDAD DE VIBRACIONES SEGÚN NORMA ISO 10816

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		unacceptable	
	1.10	45.0			

ANEXO 3

HOJA DE DATOS DEL SENSOR PHANTOM

ERBESSD INSTRUMENTS®

PHANTOM EXPERT GEN 3 | VIBRATION SENSOR

HIGH RANGE TECHNICAL SPECIFICATIONS



MEASUREMENT					
Product code	EPH-V11E				
Built-in sensor	MEMS Sensor				
Sensing resolution (X, Y, Z)	240 µg				
Frequency range (@ 25,600)	0.5 Hz to 10 kHz (X,Y), 0.5 Hz to 5.1 kHz (Z)				
Dynamic range (configurable)	±8 /±16 /±32 g				
Recording time (s) 3 axes	1	2	4	8	16
Recording time (s) 1 axes	3	6	12	24	48
Sample rate (Hz)	25,600	12,800	6,400	3,200	1,600
Max frequency (Hz) [x,y]	10,000	5,000	2,500	1,250	625
Max frequency (Hz) [z]	5,100	5,000	2,500	1,250	625
Resolution lines	Triaxial-12,800 Single Axis-25,600				
Spectral noise (10 Hz)	630 µg/√Hz				
CONNECTIVITY AND SOFTWARE					
Wireless protocol	Bluetooth BLE 5.0				
Operating frequency	2.4 GHz				
Transmission power	±8 dBm				
Signal strenght range	-90 dBm to -30 dBm				
Power output range	-4 dBm to +8 dBm (Configurable)				
Devices compatibility	iOS and Android devices (WISER VIBE & Phantom™ Manager) and Phantom™ Gateway				
Software compatibility	DigivibeMX 11 M30 & Phantom™ Version / Phantom™ Manager and WISER VIBE				
Operating distance	100 m Line sight*				
Contains FCC ID	X8WBT840				
DIMENSIONS AND FIXTURE					
Dimensions (h x w)	47 x 33 mm				
Protection grade	IP69				
Weight	185 grams				
Fixture	Fastener 1/4-28 UNF				
Housing material	ABS, stainless steel				
ENVIRONMENTAL CONDITIONS					
Operating temperature	-40 to 80 °C (40 to 176 °F)				

*Ideal enviroment. No competing signals or obstructions.

ANEXO 4

HOJA DE DATOS DEL GATEWAY



GATEWAY 2.0



The **PHANTOM Condition Monitoring System** has evolved with **Gateway 2.0** — the most powerful link between your **PHANTOM** sensors and **DigivibeMX**. With expanded storage, new communication protocols, simultaneous data collection, remote updates via **EI Analytic**, and on-demand access from the user interface, you now have full control of your system. Built on your feedback, **Gateway 2.0** takes reliability to the next level.

INFORMATION

Product code	EPH-GWG2
Storage	100,000 recordings / embedded storage
Nodes supported	Up to 250 Nodes

CONNECTIVITY AND SOFTWARE

WiFi protocol	2.4GHz / 5GHz wifi
Bluetooth protocol	Bluetooth low energy 5.0
Operation frequency	2.4 Ghz
Network port	100M/10M Ethernet RJ45
Antenna gain	2.4 GHz Antenna 3dBi
Antenna connector	Two RP-SMA Male Connections
Compatible protocols	Modbus TCP / IP, OPC and MQTT
Wireless range	100 m Line sight*
Compatibility	DigivibeMX 11 PHANTOM & M30 Versions, EI-Monitoring, EI Analytic Firmware Updates via Gateway
Contains FCC ID	X8WBT840

POWER SUPPLY

Input voltage	5 VDC or 9-24 V
Minimum current required	2A

DIMENSIONS AND FIXTURE

Dimensions	88x69x30 mm (without antennas)
Weight	170 gr
Housing material	ABS / Ballistic Nylon
Fixture	Standard DIN Rail (35 mm, 42 mm wide)

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Operating temperature	-7 °C to 60 °C (20 °F to 140 °F)
Protection grade	IP54

ANEXO 5

VALIDACION DE ESPECIALISTAS 1

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Estimado colega:

Se solicita su valiosa cooperación para evaluar la siguiente propuesta del proyecto de titulación: Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.

Sus criterios son de suma importancia para la realización de este trabajo, por lo que se le pide brinde su cooperación contestando las preguntas que se realizan a continuación.

Datos informativos

Validado por: ANGEL VICENTE HURTADO REA

Título obtenido
INGENIERO MECÁNICO
Cédula de Identidad
0200944296
E- mail
ahurtado@ocp-ec.com
Institución de Trabajo
OCP Ecuador S.A.
Cargo
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
Años de experiencia en el área
25

Instructivo:

- Responda cada criterio con la máxima sincera del caso;
- Revisar, observar y analizar la propuesta del proyecto de titulación; y,
- Coloque una X en cada indicador, tomando en cuenta que Muy adecuado equivale a 5, Bastante Adecuado equivale a 4, Adecuado equivale a 3, Poco Adecuado equivale a 2 e Inadecuado equivale a 1.

Tema:

Indicador	Descripción	Muy adecuado	Bastante Adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Inadecuado
Impacto	El alcance que tendrá la propuesta y su representatividad en la generación de valor	X				
Aplicabilidad	La capacidad de implementación de la propuesta considerando que los contenidos sean aplicables	X				
Conceptualización	La base de conceptos y teorías propias de la propuesta de manera sistémica y articulada		X			
Actualidad	Los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos considerados en la propuesta	X				
Calidad Técnica	Los atributos cualitativos del contenido de la propuesta para satisfacer las expectativas de sus beneficiarios	X				
Factibilidad	El nivel de utilización de la propuesta por parte de la organización acorde a los recursos disponibles	X				
Pertinencia	La contundencia y conveniencia de la propuesta para solucionar el problema planteado.	X				
Total		30	4			

Observaciones:

Aplicable 100 %. El impacto será muy alto debido a respuesta inmediata de resultados de monitoreo

Recomendaciones

Ninguna

Lugar, fecha de validación: Quito, 10 de septiembre de 2025

Firma del especialista

ANEXO 6

VALIDACION DE ESPECIALISTAS 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Estimado colega:

Se solicita su valiosa cooperación para evaluar la siguiente propuesta del proyecto de titulación: Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.

Sus criterios son de suma importancia para la realización de este trabajo, por lo que se le pide brinde su cooperación contestando las preguntas que se realizan a continuación.

Datos informativos

Validado por: WILSON OSWALDO GOMEZ VALDEZ

Título obtenido
INGENIERO ELECTRÓNICO EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL, MBA.
Cédula de Identidad
1710685296
E- mail
wgomez@ocp-ec.com
Institución de Trabajo
OCP Ecuador S.A.
Cargo
Ingeniero de Scada, Redes Industriales y Telecomunicaciones
Años de experiencia en el área
20

Instructivo:

- Responda cada criterio con la máxima sincera del caso;
- Revisar, observar y analizar la propuesta del proyecto de titulación; y,
- Coloque **una X** en cada indicador, tomando en cuenta que Muy adecuado equivale a 5, Bastante Adecuado equivale a 4, Adecuado equivale a 3, Poco Adecuado equivale a 2 e Inadecuado equivale a 1.

Tema:

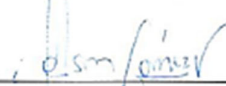
Indicador	Descripción	Muy adecuado	Bastante Adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Inadecuado
Impacto	El alcance que tendrá la propuesta y su representatividad en la generación de valor		X			
Aplicabilidad	La capacidad de implementación de la propuesta considerando que los contenidos sean aplicables		X			
Conceptualización	La base de conceptos y teorías propias de la propuesta de manera sistémica y articulada	X				
Actualidad	Los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos considerados en la propuesta	X				
Calidad Técnica	Los atributos cualitativos del contenido de la propuesta para satisfacer las expectativas de sus beneficiarios	X				
Factibilidad	El nivel de utilización de la propuesta por parte de la organización acorde a los recursos disponibles		X			
Pertinencia	La contundencia y conveniencia de la propuesta para solucionar el problema planteado.	X				
Total		20	12			

Observaciones: Se estima que este sistema sea la base para utilizar técnicas de inteligencia artificial para la detección de fallas en el mantenimiento predictivo de estos equipos.

Recomendaciones

Realizar un esquema conceptual en fases de manera de prospectar los siguientes pasos después de que este sistema de monitoreo entre en funcionamiento continuo para la aplicación de IA en futuro.

Lugar, fecha de validación: Quito, 8 de septiembre de 2025


Firma del especialista

ANEXO 7

VALIDACION DE ESPECIALISTAS 3

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

INSTRUMENTO PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Estimado colega:

Se solicita su valiosa cooperación para evaluar la siguiente propuesta del proyecto de titulación: **Sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas para monitoreo remoto en separadoras de crudo combustible de OCP Ecuador S.A.**

Sus criterios son de suma importancia para la realización de este trabajo, por lo que se le pide brinde su cooperación contestando las preguntas que se realizan a continuación.

Datos informativos

Validado por: DIEGO RAMIRO ANGULO PADILLA

Título obtenido
Ingeniero en Sistemas / Magister en Gerencia de TI
Cédula de Identidad
1714437512
E- mail
dangulo@ocp-ec.com
Institución de Trabajo
OCP Ecuador S.A.
Cargo
Coordinador TIC
Años de experiencia en el área
27

Instructivo:

- Responda cada criterio con la máxima sincera del caso;
- Revisar, observar y analizar la propuesta del proyecto de titulación; y,
- Coloque **una X** en cada indicador, tomando en cuenta que Muy adecuado equivale a 5, Bastante Adecuado equivale a 4, Adecuado equivale a 3, Poco Adecuado equivale a 2 e Inadecuado equivale a 1.

Tema:

Indicador	Descripción	Muy adecuado	Bastante Adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Inadecuado
Impacto	El alcance que tendrá la propuesta y su representatividad en la generación de valor	X				
Aplicabilidad	La capacidad de implementación de la propuesta considerando que los contenidos sean aplicables	X				
Conceptualización	La base de conceptos y teorías propias de la propuesta de manera sistémica y articulada	X				
Actualidad	Los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos considerados en la propuesta	X				
Calidad Técnica	Los atributos cualitativos del contenido de la propuesta para satisfacer las expectativas de sus beneficiarios	X				
Factibilidad	El nivel de utilización de la propuesta por parte de la organización acorde a los recursos disponibles	X				
Pertinencia	La contundencia y conveniencia de la propuesta para solucionar el problema planteado.	X				
Total		35				

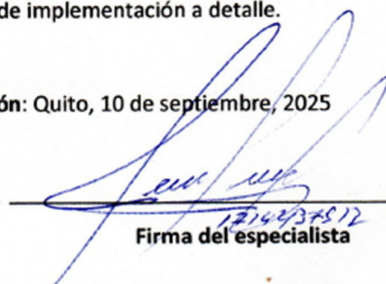
Observaciones:

El Proyecto es de alto valor para las operaciones de OCP ya que será de gran ayuda para el monitoreo en línea de vibraciones en las Separadoras de Crudo que están en las estaciones de bombeo. El contar con un monitoreo en línea nos brindará información clave para la toma de decisiones en cuanto a las frecuencias de mantenimiento logrando así la gestión eficiente en costos.

Recomendaciones

Documentar el proceso de implementación a detalle.

Lugar, fecha de validación: Quito, 10 de septiembre, 2025


Firma del especialista