



Mantenimiento predictivo por medio de IoT a motor MTU

Juan Sebastian Vargas Sandoval

Especialización en Gerencia del Mantenimiento y Gestión de Activos

Universidad Santo Tomás

Seccional Tunja

1. Introducción

En los sistemas industriales de alta criticidad, los motores de combustión interna empleados en la generación de energía desempeñan un papel fundamental como activos estratégicos, dado que su nivel de confiabilidad y disponibilidad incide de manera directa en los resultados operativos y financieros de las organizaciones. En este sentido, los motores MTU constituyen inversiones de capital intensivo que requieren la adopción de estrategias de gestión orientadas a la mitigación del riesgo y a la maximización del valor. De acuerdo con la Organización Internacional de Normalización, a través de la norma ISO 55000, la gestión de activos trasciende el mantenimiento físico del equipo y se concibe como una actividad coordinada destinada a equilibrar costos, riesgos y desempeño a lo largo del ciclo de vida del activo (ISO, 2014).

No obstante, los enfoques tradicionales de mantenimiento preventivo evidencian limitaciones significativas cuando se aplican a escenarios caracterizados por variabilidad de carga y condiciones operativas cambiantes. En este contexto, Zambrano-Castro y Pérez-Guerrero (2021) señalan que, en motores diésel industriales, la dependencia exclusiva de mantenimientos programados por horas de operación puede derivar tanto en intervenciones innecesarias como en fallas no previstas. En consecuencia, la tendencia actual se orienta hacia esquemas de diagnóstico basados en la condición real del equipo. Esta postura es coherente con lo expuesto por Amendola (2020), quien afirma que la gestión moderna de la disponibilidad exige superar los modelos cíclicos tradicionales con el fin de optimizar el ciclo de vida del activo.

Bajo esta perspectiva, el Internet de las Cosas (IoT) se consolida como el principal habilitador tecnológico de la transformación del mantenimiento (Red Hat, s. f.). En particular, Porter y Heppelmann (2015) destacan que la evolución hacia productos inteligentes y conectados permite que los datos generados por los activos dejen de ser simples registros históricos para convertirse en insumos estratégicos con potencial de ventaja competitiva. De manera complementaria, la integración de sensores y herramientas de analítica avanzada favorece una gestión proactiva del

mantenimiento, en concordancia con la visión de la CEPAL (2021) sobre la digitalización como mecanismo para reducir la incertidumbre operativa en la industria de la región.

Desde la óptica financiera, resulta indispensable que la implementación de soluciones basadas en IoT sea sustentada mediante criterios de rentabilidad y generación de valor. Al respecto, García Palencia (2012) enfatiza que toda inversión en sistemas de monitoreo debe evaluarse a partir de indicadores financieros como el valor presente y la reducción del riesgo económico, proporcionando información objetiva para la toma de decisiones relacionadas con la continuidad, modernización o reemplazo del activo.

A pesar de los avances tecnológicos descritos, persiste una brecha relevante entre el monitoreo de condición en tiempo real y su integración efectiva en los procesos de toma de decisiones financieras. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo general desarrollar y evaluar una estrategia de mantenimiento basada en IoT aplicada a un motor MTU, orientada a la anticipación de fallas y a la optimización de costos, bajo los lineamientos establecidos por la norma ISO 55000.

2. Problemas recurrentes en motores MTU y su mitigación mediante IoT

En el marco de una gestión de activos alineada con los principios de la norma ISO 55000, resulta fundamental reconocer los modos de falla que afectan de manera directa la confiabilidad y disponibilidad de los motores MTU. En este sentido, el análisis de los problemas recurrentes permite comprender las limitaciones de los esquemas tradicionales de mantenimiento y, a su vez, evidenciar el potencial de las tecnologías IoT para evolucionar hacia enfoques predictivos. A continuación, se examinan dichos problemas a partir de los principales subsistemas funcionales del motor.

2.1 Subsistemas termodinámicos y de fluidos (lubricación y refrigeración)

Desde el punto de vista operativo, la integridad tribológica y térmica del motor constituye uno de los factores más críticos en la ocurrencia de fallas severas en motores de combustión interna. En

particular, los sistemas de lubricación y refrigeración concentran una alta proporción de eventos que derivan en paradas no programadas y daños estructurales. En el sistema de lubricación, la pérdida progresiva de las propiedades fisicoquímicas del aceite, así como la presencia de contaminantes sólidos o fluidos, conduce a condiciones de fricción límite que aceleran el desgaste de los componentes. Al respecto, Trujillo (2020) señala que la dependencia exclusiva de análisis de laboratorio realizados de forma periódica genera brechas temporales en la supervisión del activo, durante las cuales fenómenos como la dilución por combustible o la disminución de la viscosidad pueden evolucionar sin ser detectados oportunamente, incrementando el riesgo de gripado del motor. Las deficiencias en el sistema de refrigeración constituyen un factor relevante de degradación acelerada en motores MTU, ya que el sobrecalentamiento ocasionado por obstrucciones, pérdidas de eficiencia térmica o fallas en la circulación del refrigerante compromete la integridad de componentes estructurales. En este sentido, Zambrano-Castro y Pérez-Guerrero (2021) advierten que la exposición repetida, incluso durante periodos cortos, a condiciones de estrés térmico reduce de manera significativa la vida útil remanente del activo. Ante estas limitaciones, la incorporación de tecnologías IoT posibilita el monitoreo continuo de la condición de los fluidos del motor mediante sensores en línea, permitiendo identificar tendencias de degradación del lubricante y generar alertas tempranas asociadas a la pérdida de la película lubricante.

Como resultado, esta estrategia facilita la transición desde mantenimientos preventivos rígidos hacia un **mantenimiento basado en condición (CBM)**, optimizando el uso del aceite, reduciendo intervenciones innecesarias y evitando daños irreversibles en los componentes críticos del motor MTU.

2.2 Integridad mecánica y eficiencia de la combustión

El desempeño global del motor MTU depende en gran medida de la interacción entre su integridad mecánica y la eficiencia del proceso de combustión. En este sentido, el estado de los

componentes cinemáticos y el comportamiento del sistema de inyección influyen directamente en la confiabilidad y el consumo energético del activo. El desgaste de componentes móviles en motores MTU se desarrolla de forma progresiva y no suele ser detectable mediante inspecciones visuales en etapas tempranas. Según García Palencia (2012), estas fallas emiten señales vibratorias antes de manifestarse térmica o acústicamente. Asimismo, las fallas en el sistema de inyección deterioran la calidad de la combustión, incrementan las cargas mecánicas internas y elevan el consumo de combustible.

Frente a este escenario, la aplicación de tecnologías IoT permite implementar un diagnóstico integrado de tipo vibroacústico y termodinámico. Para ello, se incorporan acelerómetros destinados al análisis espectral de vibraciones en ejes y cojinetes, junto con sistemas de pirometría de gases de escape por cilindro. La información obtenida posibilita la identificación temprana de frecuencias asociadas a fallas mecánicas y de desequilibrios térmicos entre cilindros, indicativos de problemas en la inyección. Como resultado, se facilita la planificación precisa de las intervenciones y se reduce el Tiempo Medio para Reparar (MTTR), eliminando la necesidad de diagnósticos basados en prueba y error.

2.3 Eficiencia del sistema de combustión e inyección

El correcto funcionamiento del sistema de inyección resulta determinante para garantizar una combustión equilibrada entre cilindros y un desempeño estable del motor MTU. No obstante, fallas como inyectores obstruidos o con goteo generan una combustión deficiente, provocando desequilibrios de potencia y esfuerzos mecánicos adicionales sobre el conjunto rotativo. Estas condiciones operativas anómalas incrementan el consumo de combustible y aceleran el desgaste de los componentes internos, además de elevar las emisiones contaminantes, lo que compromete tanto el desempeño ambiental como la confiabilidad operativa del sistema.

Ante estas limitaciones, la incorporación de soluciones IoT orientadas al monitoreo de la combustión permite un control más preciso del proceso. En particular, el seguimiento individual de la temperatura de los gases de escape por cilindro, complementado con la medición de la presión intra-cilindro, proporciona información clave para evaluar la calidad de la combustión. Este enfoque posibilita el balanceo fino de la potencia entregada por cada cilindro y la identificación puntual del inyector que requiere mantenimiento, optimizando así el consumo de combustible y reduciendo el impacto operativo y ambiental.

2.4 Confiabilidad del sistema de control y contexto operacional

La confiabilidad del motor MTU no depende únicamente del estado mecánico de sus componentes, sino también de una gestión adecuada del sistema de control y de las condiciones de operación. Fallas intermitentes en sensores o en la Unidad de Control Electrónico (ECU) suelen ser difíciles de diagnosticar sin registros históricos, lo que incrementa el riesgo de paradas no programadas. Adicionalmente, la operación fuera de los rangos recomendados por el fabricante, como sobrecargas o periodos prolongados a baja carga, acelera la degradación del activo. Mora Gutiérrez (2016) destaca que el contexto operacional es determinante en la confiabilidad, independientemente de la calidad del mantenimiento preventivo aplicado.

En este escenario, la integración de soluciones IoT permite conectar la ECU con plataformas de analítica en la nube, facilitando la telemetría de variables operativas, alarmas y eventos de falla. El análisis de históricos de carga y relaciones RPM–torque posibilita la realización de auditorías operativas y un análisis de causa raíz más efectivo, fortaleciendo la gestión del activo.

Objetivo General

Desarrollar una estrategia de gestión de mantenimiento basada en Internet de las Cosas (IoT) para un motor MTU, mediante la adquisición y analítica de datos en tiempo real, con el fin de optimizar la confiabilidad, mitigar el riesgo de fallas críticas y rentabilizar el ciclo de vida del activo bajo los lineamientos de la norma ISO 55000.

Objetivos Específicos

1. Identificar las variables críticas de operación y condición en los subsistemas del motor MTU (vibración, termodinámica, lubricación y parámetros eléctricos) susceptibles de instrumentación IoT, alineándolas con los modos de falla recurrentes que afectan la disponibilidad del activo.
2. Diseñar una arquitectura de monitoreo integral basada en IoT que articule la sensórica de campo, los sistemas de adquisición de datos y las plataformas de análisis en la nube, garantizando la integridad, disponibilidad y trazabilidad de la información generada por el motor.
3. Establecer modelos de análisis de datos para la detección temprana de anomalías, la evaluación de tendencias de degradación y la identificación de condiciones operativas fuera de rango, permitiendo anticipar fallas funcionales antes de que generen paradas prolongadas.
4. Evaluar el impacto técnico y financiero de la estrategia propuesta, utilizando indicadores de confiabilidad (MTBF, MTTR, Disponibilidad) y métricas de gestión de activos como el Costo Total de Propiedad (TCO) y el Valor Actual Neto (VAN), para justificar la inversión tecnológica.
5. Formular lineamientos estratégicos para la toma de decisiones, soportados en la evidencia del sistema IoT, orientados a la optimización dinámica de los planes de mantenimiento, la mitigación del riesgo operativo y la extensión de la vida útil del motor MTU.

4. Contextualización y Caso de Aplicación en Colombia: Campo Quifa - Batería 4



Figura X. Ubicación del Campo Quifa en la cuenca de los Llanos Orientales, Colombia.

Fuente: Elaboración propia con base en ANH (2022).

Zona remota de alta producción de crudo pesado, donde el monitoreo IoT reduce tiempos de respuesta y riesgo operativo.

Para validar la pertinencia de la estrategia de mantenimiento basada en IoT propuesta, se analiza su aplicación en un entorno operativo real de alta exigencia: el **Campo Quifa**, ubicado en la cuenca de los Llanos Orientales. Según la **Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH, 2022)**, este campo es uno de los activos estratégicos más importantes del país para la producción de crudos pesados, caracterizándose por el manejo de grandes volúmenes de fluidos que exigen una disponibilidad mecánica crítica.

4.1. El Rol Estratégico del Motor MTU en la Inyección de Agua

En la infraestructura de superficie, específicamente en la Batería 4, los motores MTU operan como fuentes de potencia para los sistemas de Recuperación Secundaria por Inyección de Agua.

De acuerdo con el estudio técnico sobre optimización de inyección en la cuenca de los Llanos realizado por Alvarado Holguín y Baquero Basto (2019), en campos de crudo pesado como los de esta región, el factor de recobro depende directamente de la eficiencia del barrido por agua para mantener la presión del yacimiento mediante la reinyección de agua tratada. La lógica operativa es lineal:

- Disponibilidad del Motor: El activo MTU impulsa las bombas de inyección o genera la energía para el sistema de levantamiento artificial.
- Sostenimiento de Presión: El agua inyectada barre el crudo hacia los pozos productores.
- Correlación de Producción: Existe una relación directa positiva; si el flujo de inyección se detiene, la producción de barriles de aceite (BOPD) decae inmediatamente.

4.2. Impacto Financiero de la Falla: El Costo de Oportunidad

Bajo el enfoque de gestión de activos, el valor del motor no radica en su costo de adquisición, sino en el flujo de caja que garantiza.

- Escenario de Falla: Una parada no programada del motor MTU detiene la inyección de agua.
- Lucro Cesante: La "producción diferida" (crudo que se deja de extraer) representa pérdidas monetarias irre recuperables. Como reafirma Amendola (2020), en industrias de proceso continuo como el *Oil & Gas*, el costo por lucro cesante suele superar hasta en 10 veces el costo de la reparación física del equipo, afectando directamente el EBITDA de la operación.

- Condición Actual: En zonas remotas como el departamento del Meta, la falta de monitoreo remoto implica tiempos de respuesta logística elevados, agravando las pérdidas por cada hora de inactividad.

4.3. Aplicación de la Solución IoT en Batería 4

La implementación de la arquitectura IoT propuesta transforma la operación en Campo Quifa:

1. Monitoreo Remoto en Zona Aislada: La telemetría IoT permite superar las barreras geográficas de los Llanos Orientales, permitiendo que especialistas centralizados diagnostiquen vibraciones o anomalías térmicas en tiempo real sin desplazarse al sitio (Campetrol, 2021).

La localización del Campo Quifa en los Llanos Orientales, caracterizada por su aislamiento geográfico y restricciones logísticas, condiciona la operación y el mantenimiento de los activos críticos, haciendo inviable una respuesta técnica oportuna basada exclusivamente en presencia física. En este escenario, la implementación de esquemas de monitoreo remoto soportados en tecnologías IoT se convierte en una necesidad operativa y estratégica. La Figura X contextualiza el área de estudio y respalda la aplicación de la solución propuesta, la cual se basa en una arquitectura IoT que integra sensores instalados en el motor MTU para la captura continua de variables críticas, la transmisión de datos mediante un gateway hacia plataformas en la nube y el análisis avanzado de la información, permitiendo la generación de alertas tempranas y la toma de decisiones de mantenimiento basadas en condición en un entorno real de alta exigencia

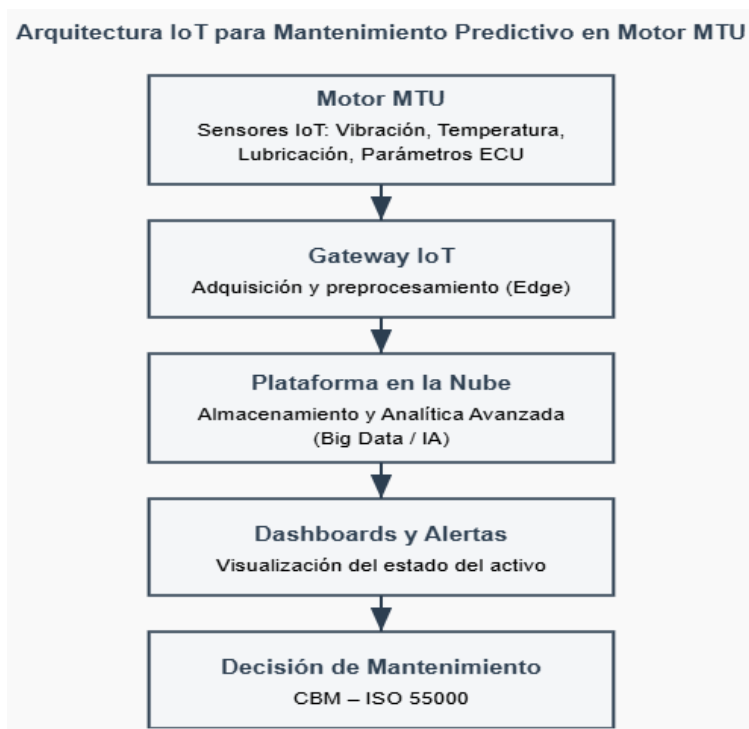


Figura X. Arquitectura IoT propuesta para mantenimiento predictivo en motor MTU.

Fuente: Elaboración propia.

2. Control de Eficiencia Energética: El sistema cruza variables del motor (consumo de combustible, RPM) con variables de proceso (caudal de inyección). Esto permite detectar ineficiencias, asegurando que cada galón de combustible consumido por el MTU se traduzca efectivamente en barriles de agua inyectados.

4.4 Transferencia de aprendizajes internacionales: experiencia en Brasil

Durante la misión académica desarrollada en Brasil, se evidenció el uso extendido de tecnologías IoT y analítica avanzada para el monitoreo de activos críticos en sectores industriales y energéticos. Estas experiencias permitieron identificar buenas prácticas asociadas a la integración de sensores en línea, plataformas de análisis centralizadas y toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

Los aprendizajes obtenidos fueron adaptados al contexto colombiano, particularmente a las condiciones operativas del Campo Quifa, considerando factores como la ubicación

remota, las restricciones logísticas y la criticidad de los sistemas de inyección de agua.

De esta manera, se fortalece la transferencia de conocimiento internacional hacia una solución viable y contextualizada para la gestión de motores MTU en Colombia.

5. Metodología

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y cuantitativo, estructurado en las siguientes fases para garantizar la coherencia entre la tecnología IoT y la gestión de activos.

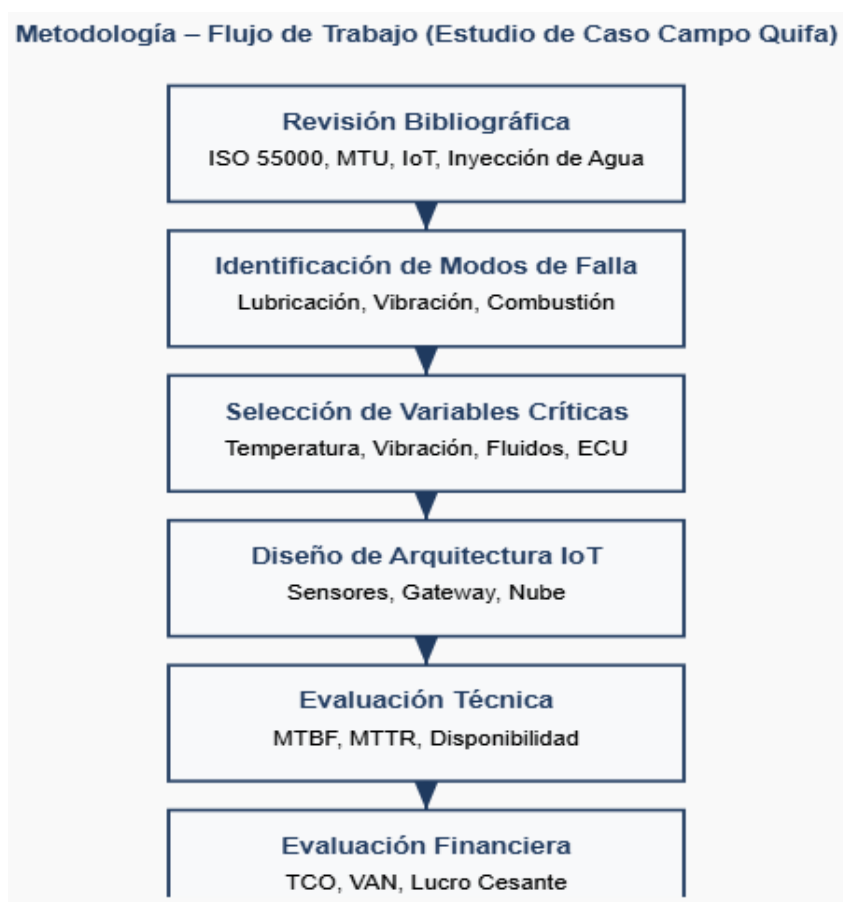


Figura X. Metodología del estudio de caso para la aplicación de mantenimiento predictivo basado en IoT en un motor MTU.

Fuente: Elaboración propia.

El estudio se enmarca en un **estudio de caso de carácter descriptivo y aplicado**. Es descriptivo, en tanto permite identificar y analizar las variables críticas de operación y condición del motor MTU, y

aplicado, porque plantea una solución tecnológica orientada a mitigar la indisponibilidad operativa en el Campo Quifa. La metodología se estructura mediante un **flujo de trabajo secuencial**, que integra la identificación de variables críticas, la instrumentación IoT, el análisis de datos y la toma de decisiones de mantenimiento, garantizando la coherencia entre la tecnología implementada y los principios de gestión de activos establecidos en la norma ISO 55000.

La recolección de datos se realizó mediante tres mecanismos:

1. Revisión Bibliográfica: Análisis de la norma ISO 55000, manuales técnicos de MTU y literatura sobre inyección de agua en Colombia (Alvarado Holguín & Baquero Basto, 2019).
2. Análisis Técnico: Evaluación de los modos de falla recurrentes y la arquitectura de sensores necesaria para el monitoreo en tiempo real.
3. Contextualización Operativa: Diagnóstico de la relación entre la disponibilidad del motor y la producción de crudo en la Batería 4.

5.1 Objeto de Análisis

El análisis se centra en la correlación entre la salud mecánica del activo y la continuidad del negocio petrolero. Se desglosa en tres dimensiones:

- Variables de Condición Térmica y Dinámica: Se analizan parámetros críticos como la temperatura de los gases de escape y los niveles de vibración global (RMS). Según Mora Gutiérrez (2016), estas variables son "síntomas tempranos" de fallas catastróficas. En los motores MTU de Quifa, un aumento en la vibración suele preceder a fallas en el acople con la bomba de inyección, lo que permite pasar de un mantenimiento reactivo a uno proactivo.
- Indicadores de Confiabilidad (MTBF y MTTR): Se analiza el histórico de paradas para establecer una línea base. El objetivo es evaluar cómo el IoT extiende el MTBF (Tiempo medio entre fallas) al evitar sobreesfuerzos del motor, y cómo reduce el MTTR (Tiempo

medio para reparar) al permitir que el equipo de soporte técnico en el Meta llegue al sitio con el diagnóstico exacto y los repuestos necesarios.

- Relación de Causalidad Operativa: Se estudia el impacto del motor sobre el caudal de inyección de agua. Al ser el MTU el "corazón" del sistema de recuperación secundaria, el objeto de análisis incluye cuántos barriles de agua se dejan de inyectar por cada hora de indisponibilidad, lo que vincula directamente la ingeniería con la producción.

5.2 Criterios de Evaluación

La validez y el éxito de la estrategia IoT propuesta se evalúan bajo los siguientes estándares técnico-económicos:

- Alineación con ISO 55000: Se utiliza el criterio de "Generación de Valor" de la norma. Según García Palencia (2012), la gestión de activos no busca reparar máquinas, sino asegurar que el activo cumpla su propósito organizacional. La propuesta se evalúa según su capacidad para mitigar el riesgo operativo en zonas de difícil acceso como los Llanos Orientales.
- Análisis del TCO (Costo Total de Propiedad): No se evalúa solo el costo de los sensores IoT, sino el ahorro proyectado en el ciclo de vida del motor. El criterio es demostrar que la inversión en tecnología reduce los gastos por reparaciones mayores (Overhaul) prematuras y logística de emergencia.
- Impacto Financiero (VAN y Lucro Cesante): El criterio de éxito financiero es la reducción de la "Producción Diferida". Se evalúa el proyecto mediante el Valor Actual Neto (VAN), comparando el escenario "Sin IoT" (altas paradas no programadas y pérdida de barriles) frente al escenario "Con IoT" (monitoreo constante y estabilidad de inyección), garantizando un flujo de caja positivo para la operadora en Campo Quifa (Amendola, 2020).

Conclusiones:

Confiabilidad y Mitigación de Riesgos : Se concluye que la implementación de la analítica IoT permite la detección temprana de anomalías en los subsistemas críticos (lubricación y vibración) del motor MTU. Esto extiende el MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y mitiga la incertidumbre operativa al evitar que los modos de falla progresen a un estado catastrófico.

Optimización de la Mantenibilidad: El diseño de la arquitectura IoT garantiza la trazabilidad del dato en entornos remotos. Esto permite un diagnóstico remoto previo que reduce significativamente el MTTR (Tiempo Medio para Reparar), minimizando los tiempos de inactividad logística asociados a la operación en Campo Quifa.

Alineación Gerencial y Financiera: La estrategia se justifica financieramente al demostrar que la inversión en IoT reduce el Costo Total de Propiedad (TCO). El principal criterio de valor es la reducción del lucro cesante por la producción diferida de crudo, lo cual impacta positivamente el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, cumpliendo con el enfoque de rentabilidad de la ISO 55000.

Propuesta Estratégica : La información generada por el sistema IoT permite formular lineamientos estratégicos que optimizan los planes de mantenimiento, pasando de ciclos fijos a intervenciones basadas en la condición real. Esto extiende la vida útil del motor MTU y asegura la continuidad de la inyección de agua, soporte vital para la producción en el contexto colombiano.

Referencias Bibliográficas

Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2022). *Informe de recursos y reservas de hidrocarburos de Colombia*. Ministerio de Minas y Energía.

<https://www.anh.gov.co/>

Campetrol. (2021). *Informe de coyuntura petrolera: Retos de la eficiencia operativa en Colombia*.

Cámara Colombiana de Bienes y Servicios de Petróleo, Gas y Energía.

<https://campetrol.org/>

Alvarado Holguín, A. F., & Baquero Basto, J. M. (2019). *Evaluación del piloto de inyección de agua implementado en un campo de crudo pesado de la cuenca de los Llanos Orientales para el diseño de estrategias de optimización* [Tesis de pregrado, Universidad de América]. Repositorio Institucional Universidad de América.

<https://repository.uamerica.edu.co/items/62acda15-d505-4b11-afdc-4677c08967d0>

Red Hat. (s. f.). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?*

<https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento industrial efectivo*. Editorial COLDI Limitada.

<http://hdl.handle.net/10784/28433>

Repositorio Académico. (2019). *Explicación de la norma ISO 55000:2014: Gestión de activos*.

<https://core.ac.uk/download/pdf/345024943.pdf>

Zambrano-Castro, J. W., & Pérez-Guerrero, J. N. (2021). Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel. *Revista Científica INGENIAR*.

<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/67>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. Naciones Unidas. [https://www.cepal.org/es/publicaciones/46816-tecnologias-](https://www.cepal.org/es/publicaciones/46816-tecnologias-digitales-nuevo-futuro)

[digitales-nuevo-futuro](https://www.cepal.org/es/publicaciones/46816-tecnologias-digitales-nuevo-futuro)

Amendola, L. J. (2020). *Gestión de activos: Modelos de excelencia en el mantenimiento*. PMM Business School.

<https://pmm-bs.com/libros/>

García Palencia, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial: Principios fundamentales*.

Ediciones de la U.

<https://edicionesdelau.com/producto/gestion-moderna-del-mantenimiento-industrial/>

Mantenimiento predictivo por medio de IoT a motor MTU

Juan Sebastian Vargas Sandoval – juan.vargassa@usantoto.edu.co – Gerencia del Mantenimiento y Gestión de Activos

Introducción:

Los motores MTU son activos críticos cuya confiabilidad impacta directamente la operación y los resultados financieros.

Los esquemas tradicionales de mantenimiento presentan limitaciones frente a condiciones operativas variables.

El uso de **IoT** permite el monitoreo en tiempo real y la transición hacia un **mantenimiento basado en condición**, alineado con la **ISO 55000** y orientado a la generación de valor (ISO, 2014; Red Hat, s. f.).

Problemas Recurrentes en Motores MTU y su Mitigación Mediante IoT:

Principales fallas identificadas:

- Desgaste mecánico progresivo
- Degradación de lubricación y refrigeración
- Ineficiencias en la combustión

Solución IoT:

- Monitoreo continuo de vibración, temperatura y lubricante
- Detección temprana de anomalías
- Reducción del riesgo operativo y de costos del ciclo de vida

Método:

Enfoque: Cualitativo–cuantitativo
Tipo: Estudio de caso descriptivo y aplicado
Contexto: Campo Quifa – Batería 4
Actividades clave:

- Revisión de ISO 55000 y literatura técnica
- Análisis de modos de falla del motor MTU
- Evaluación de confiabilidad y criterios técnico-económicos



Metodología – Flujo de Trabajo (Estudio de Caso Campo Quifa)



Objetivo General:

Desarrollar una estrategia de mantenimiento basada en IoT aplicada a un motor MTU, que permita anticipar fallas, mitigar el riesgo operativo y optimizar el valor del activo conforme a la norma ISO 55000.

Objetivos Específicos:

- Identificar variables críticas del motor MTU susceptibles de monitoreo IoT (vibración, temperatura, lubricación y parámetros eléctricos).
- Diseñar una arquitectura de monitoreo IoT para la adquisición y análisis de datos en tiempo real.
- Detectar tempranamente anomalías y tendencias de degradación para anticipar fallas funcionales.

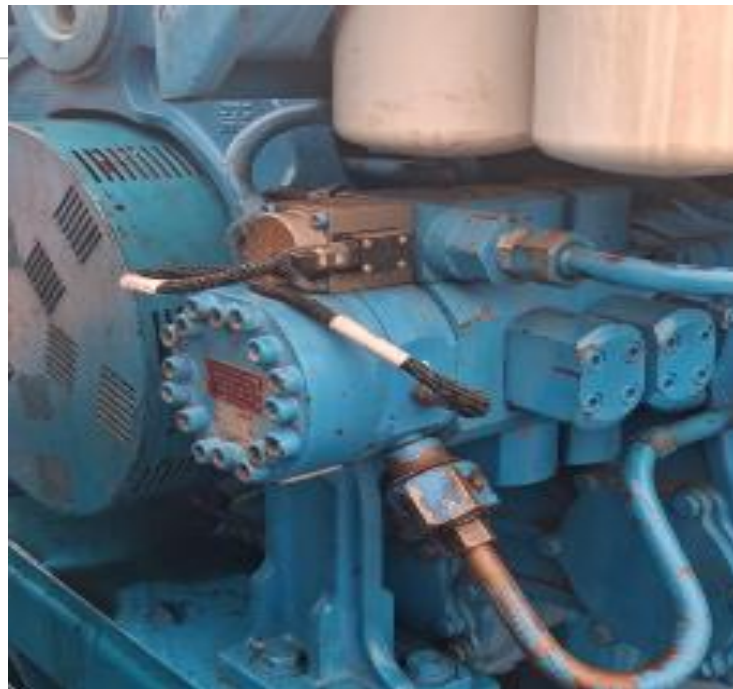
Aplicación en Colombia: Campo Quifa – Batería 4

Campo estratégico para crudos pesados en los Llanos Orientales (ANH, 2022).

Los motores MTU son críticos para la **inyección de agua**, proceso clave para la continuidad productiva.

Aporte del IoT:

- Monitoreo remoto en tiempo real
 - Detección temprana de fallas
 - Reducción de producción diferida y pérdidas económicas
- (Amendola, 2020; Campetrol, 2021)



Conclusiones

- **Confiabilidad:** IoT incrementa el MTBF y reduce fallas críticas.
- **Mantenibilidad:** Diagnóstico remoto disminuye el MTTR en zonas remotas.
- **Valor económico:** Reducción del TCO y del lucro cesante, mejorando el VAN.
- **Estrategia:** El mantenimiento basado en condición extiende la vida útil del motor MTU.

Referencias:

Campetrol. (2021). *Informe de coyuntura petrolera: Retos de la eficiencia operativa en Colombia*. Cámara Colombiana de Bienes y Servicios de Petróleo, Gas y Energía. <https://campetrol.org/>

Alvarado Holguín, A. F., & Baquero Basto, J. M. (2019). *Evaluación del piloto de inyección de agua implementado en un campo de crudo pesado de la cuenca de los Llanos Orientales para el diseño de estrategias de optimización* [Tesis de pregrado, Universidad de América]. Repositorio Institucional Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/items/62acda15-d505-4b11-afdc-4677c08967d0>

Red Hat. (s. f.). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?* <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento industrial efectivo*. Editorial COLDI Limitada. <http://hdl.handle.net/10784/28433>