



Sesión  
**BRÚJULA**

1



**Integración de tecnologías de monitoreo y analítica para reducción de riesgo de exposición y mejora en el desempeño de equipo de proceso peligroso y crítico**

**Felipe Diaz Romero**

Ing. Integral de Mantenimiento y Confiabilidad ECOPETROL



2

# Antecedentes



**A**  
Contexto Refinería de Cartagena  
Gestión de la planta de Alquilación HF  
Riesgo #1 de seguridad de procesos del Grupo Ecopetrol.

**B**  
Complejidad, Cobertura y aseguramiento de un plan integral de gestión del activo

**C**  
Estrategia de análisis de condición e activos industriales "SUITE DE TECNOLOGÍA"

**D**  
Proyectos ágiles, la tecnología como apalancador de la prescripción y optimización de la estrategia.

#CMMC México2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

3

## Alineación con la Estrategia Corporativa

# ENERGÍA QUE TRANSFORMA

ESTRATEGIA 2040

### 4. RETORNOS COMPETITIVOS

EBITDA 13-14 miles de millones USD<sup>2</sup> en 2040: 50% hidrocarburos y 50% diversificación<sup>3</sup>

Mantenemos transferencias a la Nación 13-20 BCOP promedio año 2022-2040

Asignación de capital por línea de negocio: 60% hidrocarburos y 40% bajas emisiones al 2040

### 3. CONOCIMIENTO DE VANGUARDIA

20-30 miles de millones USD de EBITDA habilitados por Ciencia, Tecnología e Innovación acumulados al 2040

Incorporación de Big Data e Inteligencia Artificial para mejorar factor de recobro de nuestros activos

Reconversión tecnológica del parque de generación propia

### 1. CRECER CON LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Mantenemos aspiración estratégica de producción de ~700-750 (kbped) al 2040

Aceleración de las metas de incorporación de energía renovable: 900MW<sup>1</sup> al 2025 frente a meta inicial de 1.000MW<sup>1</sup> al 2030

Crecimiento en transmisión y nuevos negocios de energía en ISA entre el 22% y 26% del EBITDA del GE a 2040

### 2. GENERAR VALOR CON SOSTECNIBILIDAD<sup>®</sup>

~0,6 BCOP por año de inversión social con transformación de los territorios

Reducción de 55% en emisiones de metano al 2030

Eficiencia energética, optimización consumo interno de energía en 25PJ<sup>4</sup> al 2030

#CMMC México2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

4

## Contexto Refinería de Cartagena

- En servicio desde **agosto 2016**
- **35 plantas de procesamiento** incluyendo la recién incorporada unidad de crudo **U001 (2022)**
- Capacidad de procesamiento original **165 MIL BPD**, después de 2022 **210 MIL BPD**.
- Refinería más moderna LATAM acorde Solomon (FC:11.8)



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

5

## Contexto Refinería de Cartagena Unidad Alquilación HF (Riesgo #1 Grupo Ecopetrol)

CLASE - TIPO	CANTIDAD
Equipos Rotativos	80
Reactores	2
Líneas de proceso Críticas	100
Equipos Estáticos Complejos	20

25 BOMBAS Circulan HF



65% Líneas Circulan HF



34 Monitores Automáticos protegen fuga de HF



Equipo Integrado unidad de Alquilación HF

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

6

### Contexto Refinería de Cartagena Unidad Alquileración HF (Riesgo #1 Grupo Ecopetrol)



**HH EXPOSICION**  
Inspección equipo rotativo critico



**MTBF ROTATIVO**  
Meses



**COSTOS ESTRATEGIA INSPECCION INTEGRIDAD M**  
USD\$



**COSTOS ESTRATEGIA MANTENIMIENTO ROTATIVO M**  
USD\$

#CMCMéxico2025



7

### CASO DE ESTUDIO DE LA INDUSTRIA PROBLEMAS COMBINADOS



#### IMPACTO A LAS PERSONAS

El proceso puede inducir **reducción de calidad de vida** del operador / mantenedor.



#### IMPACTO A LA INTEGRIDAD DE LOS ACTIVOS

El proceso puede inducir **reducción de vida útil** en los activos por mecanismos de corrosión.



#### IMPACTO A LOS COSTOS DE LA ESTRATEGIA

El proceso requiere de **planes de inspección** demandan de **alto presupuesto**.

#CMCMéxico2025



8

### IDEA DE SOLUCIÓN DESARROLLO DEL CONCEPTO SUITE INTEGRADORA



La solución se construyó en **dos dimensiones**

- **Monitoreo en Línea**
- **Análisis de Condición del Activo**

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICION

### RETOS DE LA IMPLEMENTACIÓN



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICION

# RETOS DE LA IMPLEMENTACIÓN (TIEMPO)



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

# Alineación con la declaración de Cultura

Principios para lograr un proyecto en 365 días



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

# RETOS DE LA IMPLEMENTACIÓN (ENTORNO) RESTRICCIONES EN EL PRESUPUESTO



# 1

## DIGITALIZACIÓN DE BAJO COSTO

Identificación y priorización de activos de alto impacto.

Pilotos con aliados.

# 2

## POTENCIALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO INTERNO

Formación con proveedores

Desarrollo ingenierías in-House

# 3

## GESTIÓN Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS CON LICENCIAS DISPONIBLES Y USO DE HERRAMIENTAS GRATUITAS

Data de Historiadores Pyton

#CMCMéxico2025



# Monitoreo On-Line

#CMCMéxico2025



# Objetivos de Diagnóstico



Prevención de Fallas y aumento de la seguridad (HH exposición).

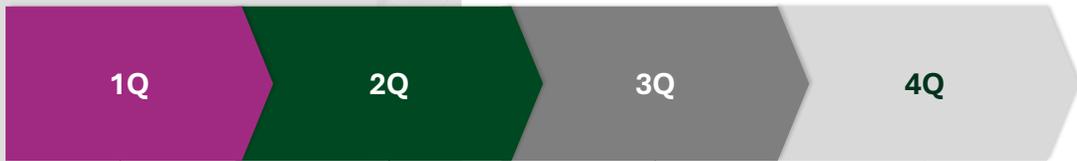


Optimización del mantenimiento y reducción de costos.



Prescripción y desarrollo de modelos.

# RUTA IMPLEMENTACIÓN SISTEMAS DE MONITOREO



Planificación y Diseño



Instalación y Configuración



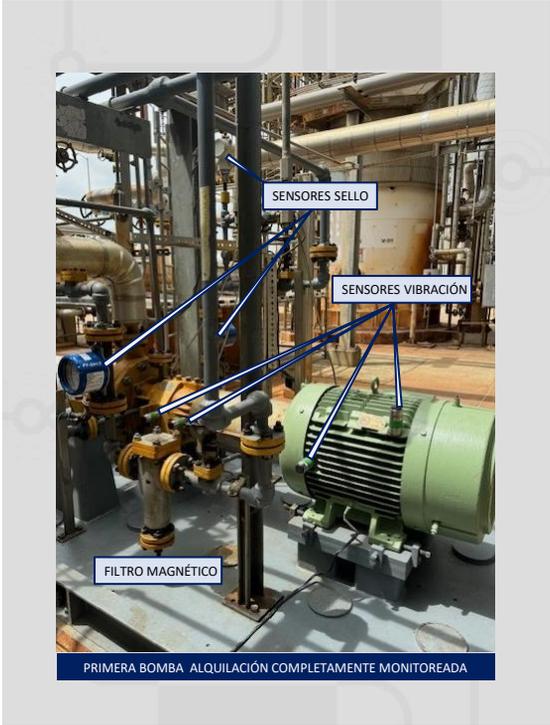
Integración y Pruebas



Optimización

## Monitoreo de vibración

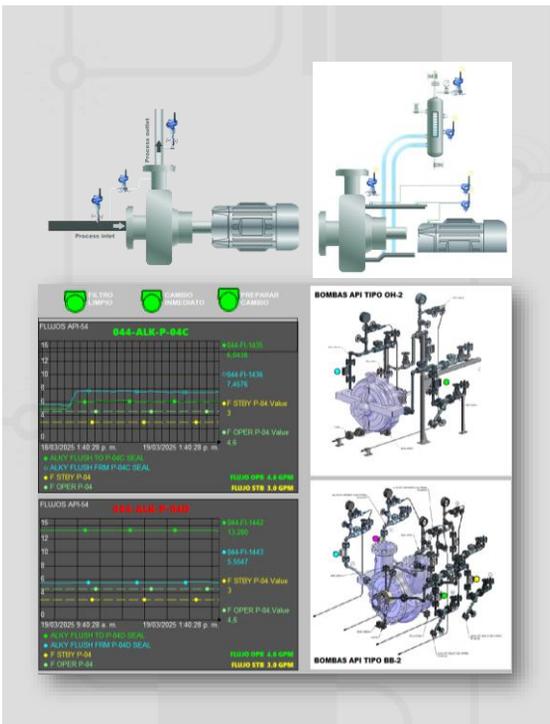
- 📍 Sensores inalámbricos con capacidad de captura de data de vibración triaxial y temperatura.
- 📍 Capacidad de integración con plataforma de gestión de condición dinámica System 1®



17

## Variables sello mecánico

- 📍 Sensores alámbricos con capacidad de captura de data de presión y flujo de líquido barrera/conexión con instrumentación de cabezal.
- 📍 Integración con DCS, PIProcessBook (Desarrollo IntelliRot)

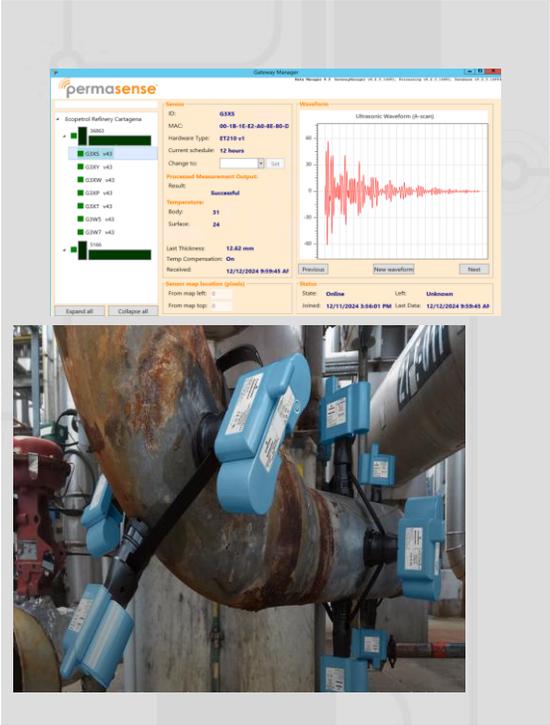


18

# Espesores en Líneas críticas

La planta de alquilación con HF supone un gran esfuerzo en la estrategia de inspección vista eventos de pérdida de contención.

Sistema Permasense® calibrado al requerimiento específico de la Unidad.



# Inspección Asistida

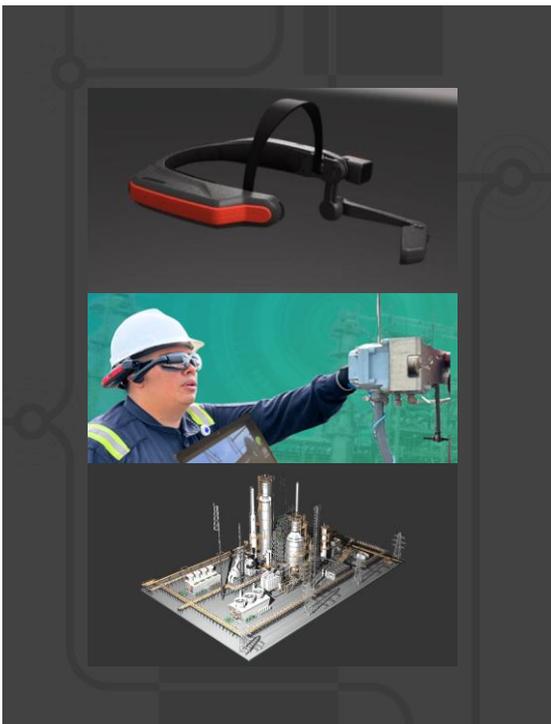


21

## Inspección visual RPAS

Remotely Piloted Aircraft System

- 
 Interfaz de video y fotografía de largo alcance (ampliación 50X)
- 
 Autonomía de vuelo >30min.
- 
 Versatilidad para incorporar cámara termográfica, de emisiones, sensores acústicos.



22

## Casco de realidad Aumentada (HMD)

Head-Mounted Display

- 
 Interfaz de video y visualización con acceso de comunicaciones vía MS Teams®
- 
 Control por voz
- 
 Versatilidad para interactuar con soporte global de fabricantes. (Actividades Críticas)

# Análisis de Condición

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICIÓN

23

## RUTA IMPLEMENTACIÓN Analítica Aplicada al análisis de condición

GRUPO ecoPETROL REFINERÍA DE CARTAGENA



2Q



### Planificación y Diseño

- Hardware
- Objetivo Ágil (Variable de decisión)
- HDMI

3Q



### Integración y Pruebas

- KPI (Correlaciones)
- Validación sobre data histórica (Entrenamiento)
- Ajustes y Optimización

4Q



### Monitoreo Continuo y Anticipación

- Detección validada y casos de éxito.
- Ampliación conocimiento del mecanismo de falla.

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICIÓN

24

**CASOS DE ÉXITO**  
Gestión de activos CRC

Por: Ramón Ariza

Implementación de modelos de Machine Learning para anticipación de fallas en intercambiadores de calor de la Unidad de Alquilación

¿Qué logramos?

Patrón de falla aprendida por el modelo de Machine Learning

25

## Solución Digital de Mantenimiento prescriptivo y predictivo

Aspen MTELL®

- 📍 Algoritmos de aprendizaje automático.
- 📍 Internet de las Cosas (IIoT)
- 📍 Compatibilidad con historiador – DCS.

944-ALM-P-1500

26

## Visualización Inteligente con uso de herramientas in-House

Ecosistema IntelliRot

- 📍 Uso eficiente e innovador de los recursos disponibles en el historiador
- 📍 Uso de herramientas de libre uso para el desarrollo de algoritmos ágiles PHYTON
- 📍 Integración disponible de aplicación directa al operador.

# RESULTADOS SOSTENIBLES

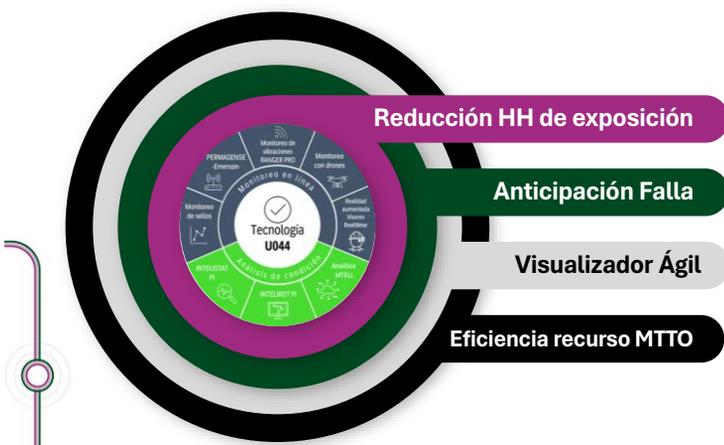
#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

27

## VICTORIAS TEMPRANAS Durante el proceso de implementación

GRUPO **ecoPETROL** REFINERÍA DE CARTAGENA



**1,200 HH**  
primeros 6 meses.



**4 MESES ANTICIPACIÓN**  
Detección ensuciamiento intercambiador



**OPERACIÓN 4.0**  
Ronda de campo migrada a versión digital.



**6 FALLAS**  
Evitadas en sellos evaluados en 450 K USD\$.

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

28

## CASOS DE ÉXITO

### Impactos sobre el Activo y la Estrategia

**Seguridad de Procesos**  
**Mejora** factor de reducción de riesgo agrega barreras Adicionales.

**HSE Exposición**  
**Reducción** exposición al riesgo Operadores / Mantenedores

**Confiabilidad y Anticipación**  
 Habilitador **Análítica** de datos Avanzada

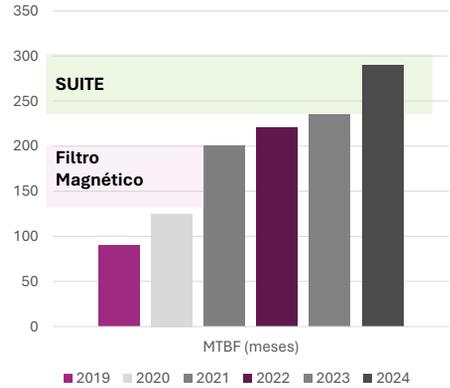
**Captura de Eficiencias**  
**Optimización** de estrategias de mantenimiento

**Operación Estructurada**  
**Evolución** del Operador hacia el análisis operacional.

**Integridad de Activos**  
 Incorporación de **Medición en Línea de corrosión**.



Tiempo Medio de Falla Equipo Rotativo Zona Acida



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

## SENDA INNOVADORA

### RECONOCIMIENTOS EN LA INDUSTRIA



#### Pioneros

- Primera integración de tecnología referenciada en unidades de alquilación HF en LATAM.



#### Digital Transformation Award

- Pioneros en Colombia monitoreo Wireless a equipo rotativo.



#### Análítica avanzada en el Downstream

- El activo Critico de alquilación HF intercambiador E-11 fue el primer caso de éxito, **anticipando** una potencial falla valorada en 11 M USD\$.



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18<sup>a</sup> EDICIÓN

# LECCIONES APRENDIDAS

## Gestión de Activos

### Reducción de Costos Operativos



31

# LECCIONES APRENDIDAS

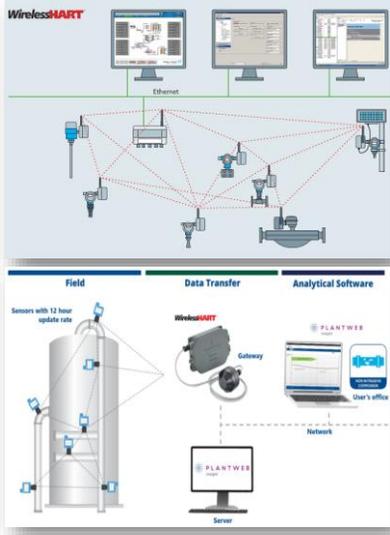
## Ciberseguridad



32

# LECCIONES APRENDIDAS

## Automatización y Control



**Ventajas Estratégicas de las Redes Inalámbricas: Conectividad, Costos y Eficiencia en la Gestión de Activos**

**Estrategias Sinérgicas para la Optimización de Activos**

**Colaboración Estratégica con Proveedores: Clave para la Optimización de Activos en la Era de la Industria 4.0**



#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

# PRÓXIMOS PASOS

APLICACIÓN SERVICIOS NO CRÍTICOS

**RETO**  
FASE 2 ALKY

**¿Que hacer con 50 equipos NO críticos pero con modos de falla que impactan el MTBF global?**



## MICROSENSORES

Uso de sensores para áreas no clasificadas acoplables a Tubing o de contacto.



## CREACIÓN DE CORRELACIONES

Desarrollo colaborativo con fabricantes de los mecanismos de falla y desarrollo de sistemas de reglas programables. (Fallas típicas de planes API)



## TRABAJO COLABORATIVO

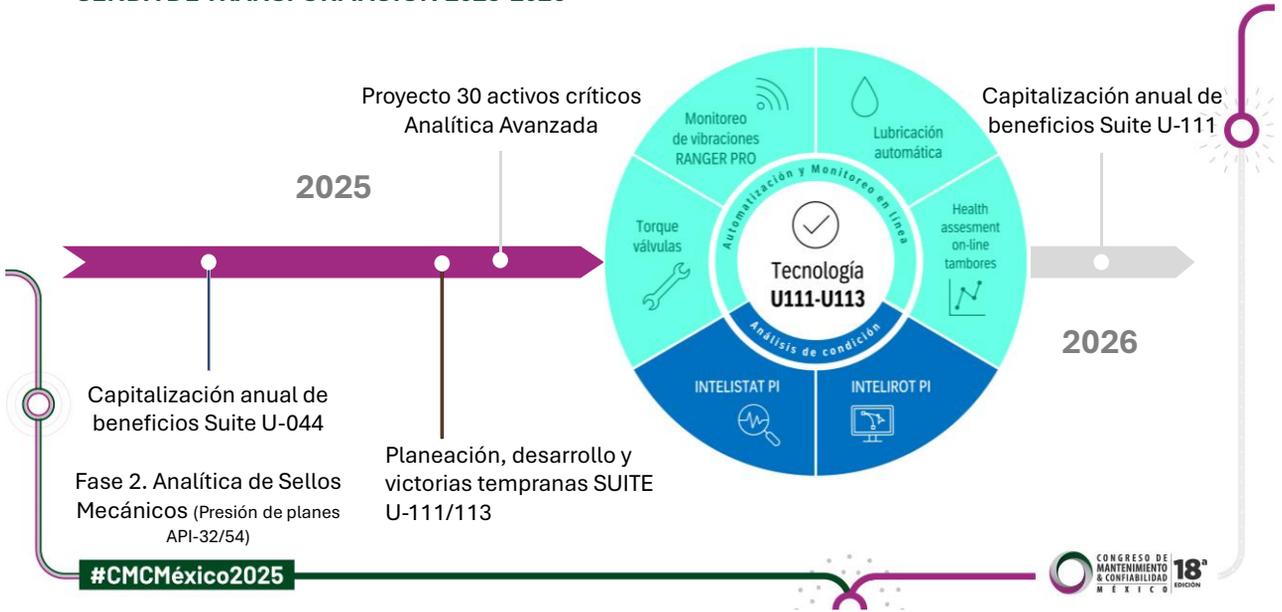
El operador como eje central de la mantenibilidad de menor costo y de más alto impacto (Entrenamiento)

#CMCMéxico2025

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

# PRÓXIMOS PASOS

SENDA DE TRANSFORMACIÓN 2025-2026



35



# iGracias!

**Felipe Díaz Romero**

felipe.diaz@ecopetrol.com.co

36