



8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS

22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento

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

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abramam**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CON ANALÍTICA AVANZADA (AA)

CASO DE ÉXITO PREDICCIÓN DE FALLAS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR MEDIANTE EL USO DE IA INDUSTRIAL

REFINERIA DE CARTAGENA ECOPETROL

Ramón Ariza - Ingeniero de Confiabilidad e Integridad, Ecopetrol SA

Herber Rincón - Líder de Gestión de Activos GRC, Ecopetrol SA





8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS

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

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

abraman
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento

ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

Autores



Ramón Ariza
*Ingeniero de Confiabilidad e
Integridad*



Herber Rincón
*Líder de Gestión de Activos
GRC*

AGENDA

- ➔ Contexto y conceptualización
- ➔ Desarrollo del modelo de Analítica
 - Introducción y contexto del caso E-11
 - Proceso de configuración del agente de Inteligencia Artificial (IA)
- ➔ Resultados del Modelo
- ➔ Sigüientes pasos
- ➔ Preguntas y respuestas

Nuestra presencia

Sede Principal

Ecopetrol S.A.
Edificio Principal - Cra. 13 # 36-24
Bogotá, Colombia

Grupo Ecopetrol

- Brasil
- Estados Unidos
- México y Centro América
- Singapur
- España
- Ecuador
- Perú
- Bolivia
- Chile
- Argentina



REFINERIA DE CARTAGENA
Carga 200 kbd / **Activos: 92.000**

REFINERIA DE BARRANCABERMEJA
Carga 227 kbd / **Activos: 96.000**

CUPIAGUA / CUSIANA
Capacidad 480 MPCD gas / **Activos: 39.604**



9,665
personas trabajadoras
- Ecopetrol S.A.



19,581
personas
trabajadoras GE



130,145
personas
trabajadoras de
contratistas GE

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

abraman
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento

ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

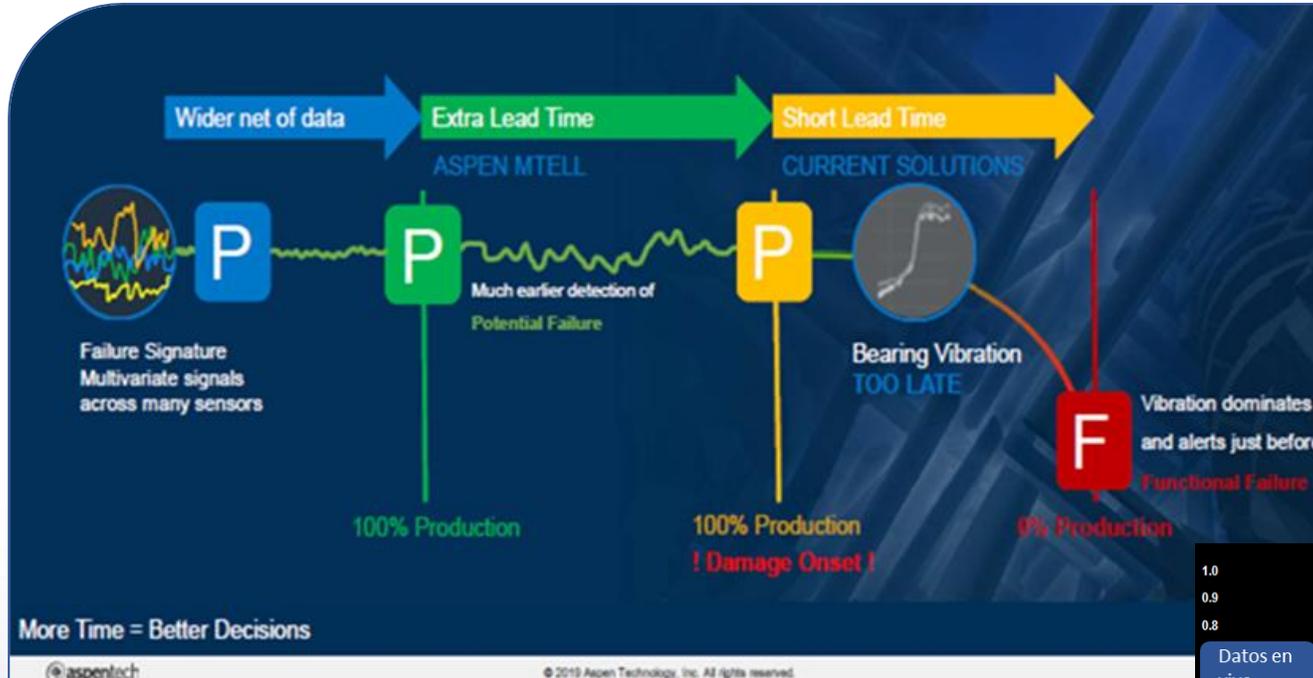
ANTICIPACIÓN Y GESTION DEL RIESGO



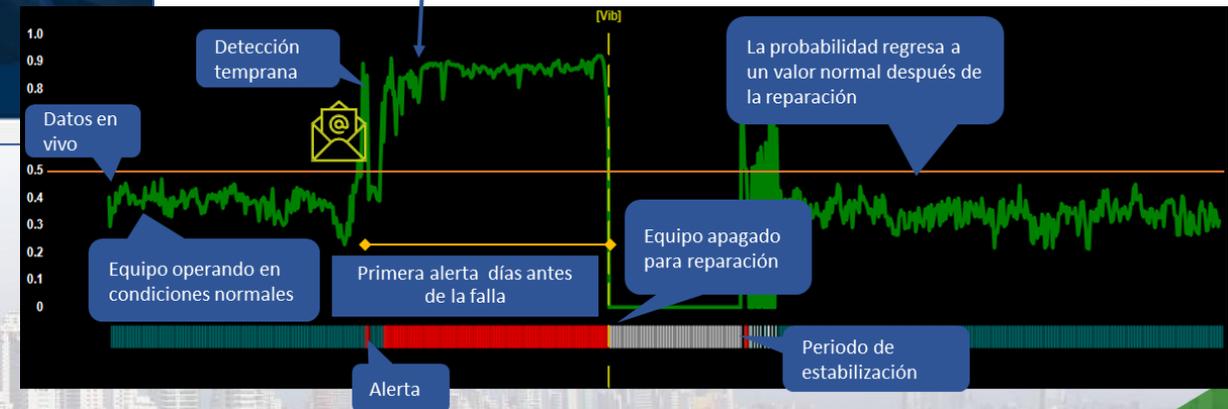
Desempeño de Activos

• DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CON ANALÍTICA AVANZADA •

Contexto y Conceptualización



Cuando detecta una desviación respecto a la línea base, dispara una alerta y envía una notificación



Agente IA: Algoritmo que tiene función específica de monitoreo inteligente de un conjunto de variables provenientes de sensores en el proceso productivo.

Objetivo y alcance

Análisis del problema y selección de alternativa



Fase 1
30 Activos críticos - Instalación



Fase 2
150 Activos críticos - Implementación y apropiación de la tecnología



OBJETIVO



Implementar una **solución aplicativa de inteligencia artificial** para la detección temprana de fallas y anomalías.



Optimizar el desempeño del activo, aumentando la disponibilidad, mejorando predicción de eventos de falla, para **reducir riesgos a la operación** en equipos críticos de Ecopetrol.



ALCANCE

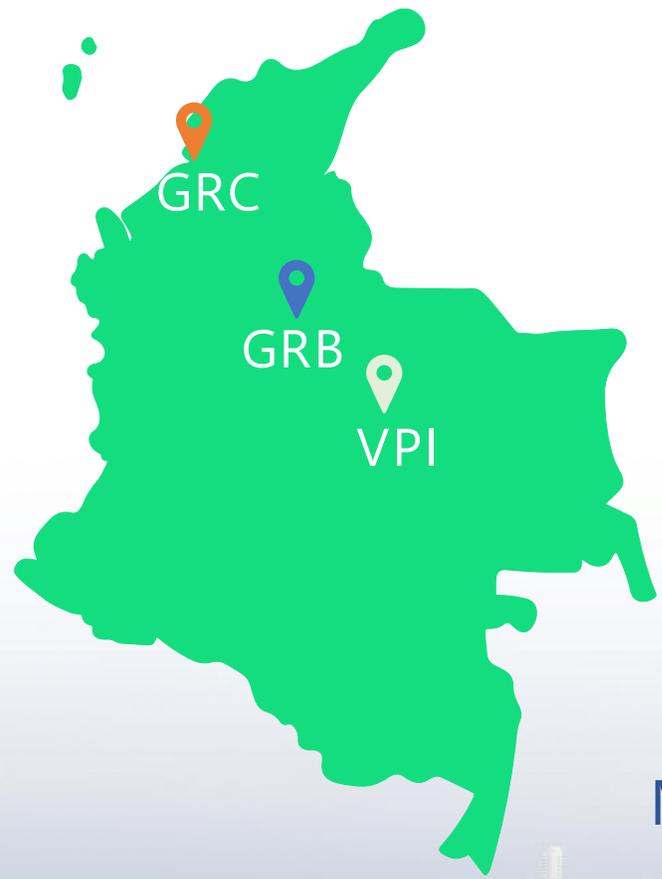


Despliegue en línea de **modelos creados de 30 activos** acordados entre partes para Ecopetrol.

ANTICIPACIÓN Y
GESTION DEL RIESGO



Activos ECP



ACTIVOS PROTEGIDOS

30

AGENTES EN VIVO

224

SENSORES MONITOREADOS

2039

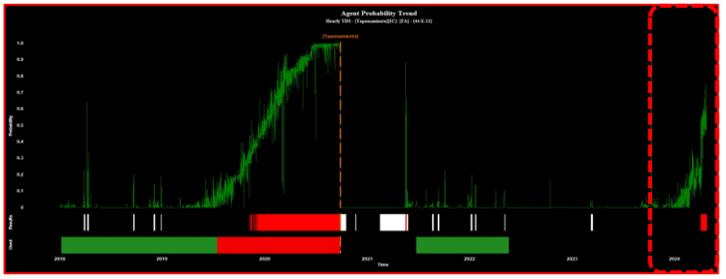
	Activos Cartagena GRC	Activos Barrancabermeja GRB	Activos Cupiagua/Cusiana VPI
Activos protegidos	10	10	10
Agentes en vivo	72	65	87 46/41
Sensores Monitoreados	652	299	1088

DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CON ANALÍTICA AVANZADA

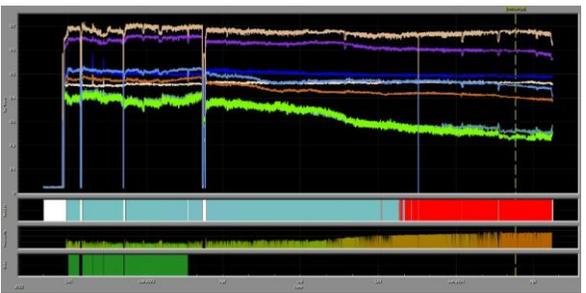
Casos de éxito

GRC

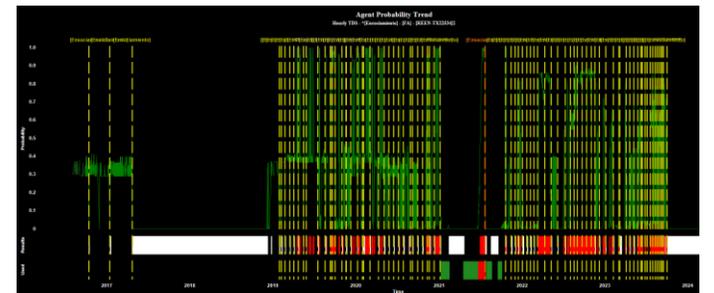
Intercambiador de calor de unidad de Alquileración



Compresores centrífugos - HDT

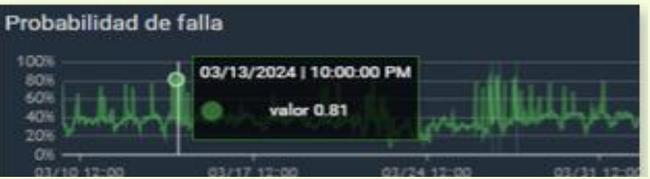


Tren de Recuperación de potencia - FCC



GRB

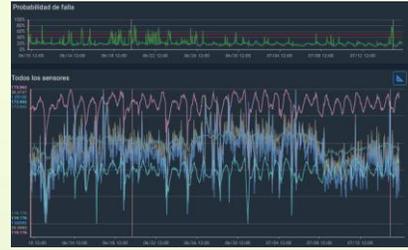
Compresores recíprocos de Make Up de H₂



Sistemas de sellado - HDT

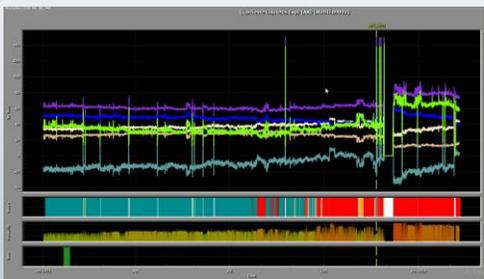


Compresores centrífugos - HCM



VPI

Aislamiento en los cojinetes del turboexpander



Vibración en los cojinetes de la turbina



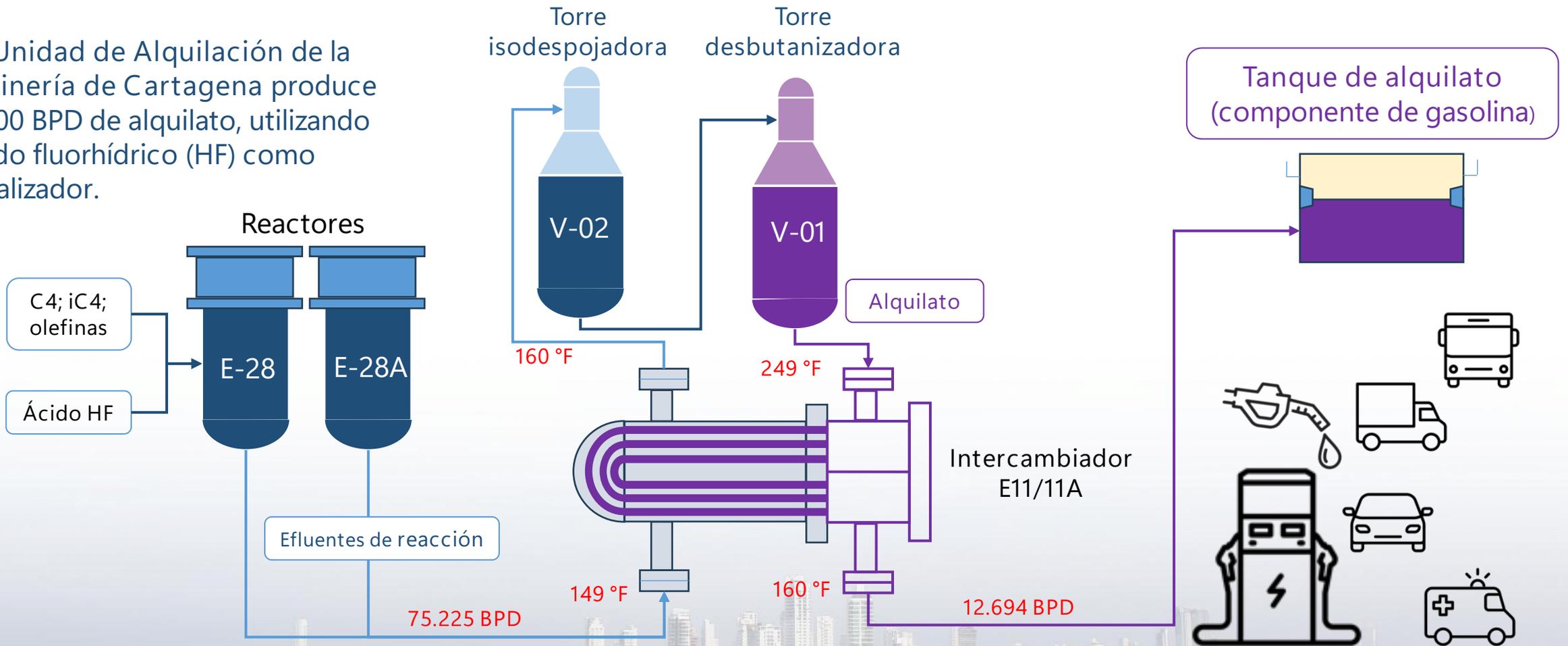
DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CON ANALÍTICA AVANZADA

AGENDA

- ➔ Contexto y conceptualización
- ➔ Desarrollo del modelo de Analítica
 - **Introducción y contexto del caso E-11**
 - Proceso de configuración del agente de Inteligencia Artificial (IA)
- ➔ Resultados del Modelo
- ➔ Sigüientes pasos
- ➔ Preguntas y respuestas

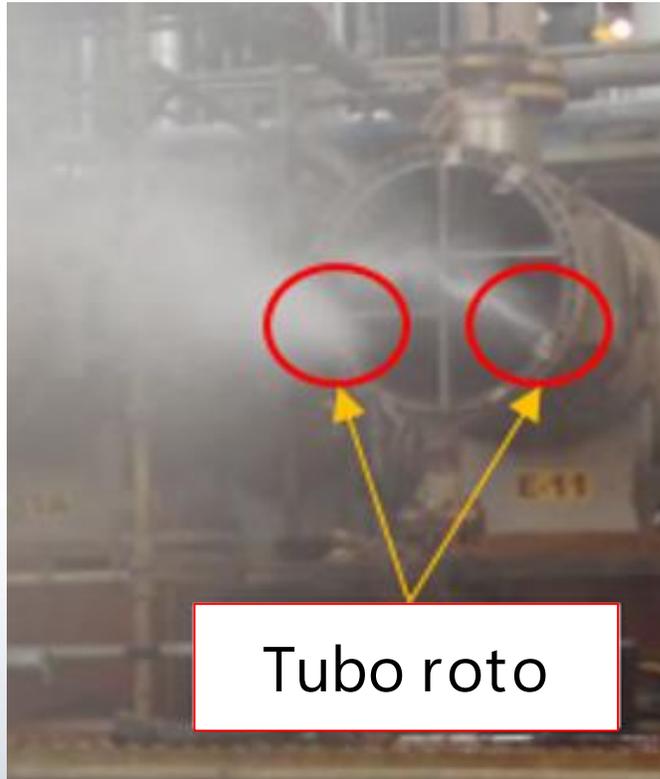
Introducción y contexto del caso E-11

La Unidad de Alquilación de la Refinería de Cartagena produce 8.700 BPD de alquilato, utilizando ácido fluorhídrico (HF) como catalizador.



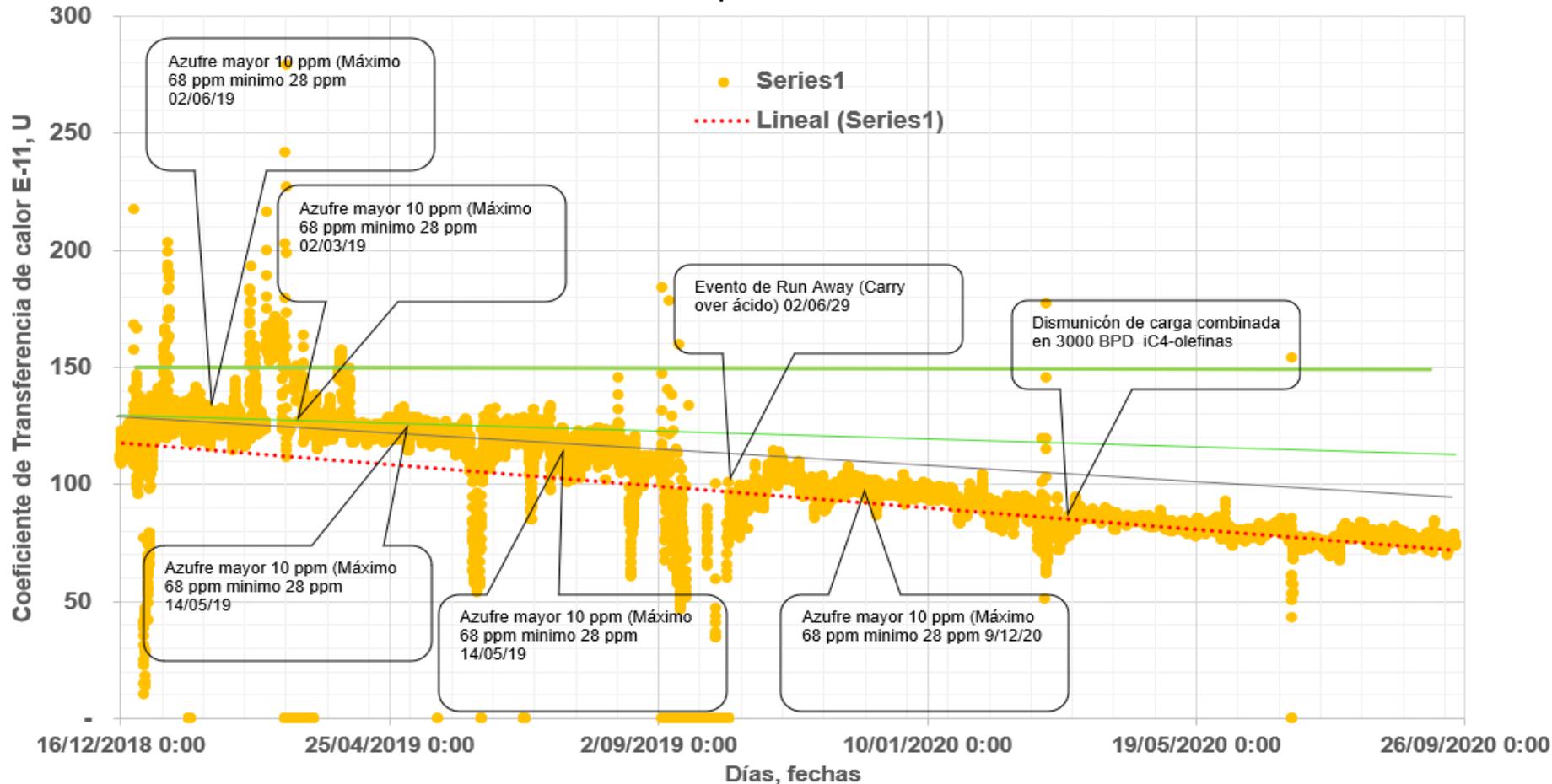
Introducción y contexto del caso E-11

En el 2020 se presentó una falla ocasionada por patrón de ensuciamiento acelerado y corrosión ácida bajo depósitos



Introducción y contexto del caso E-11

Tendencia de ensuciamiento previo al evento de falla (modelado)



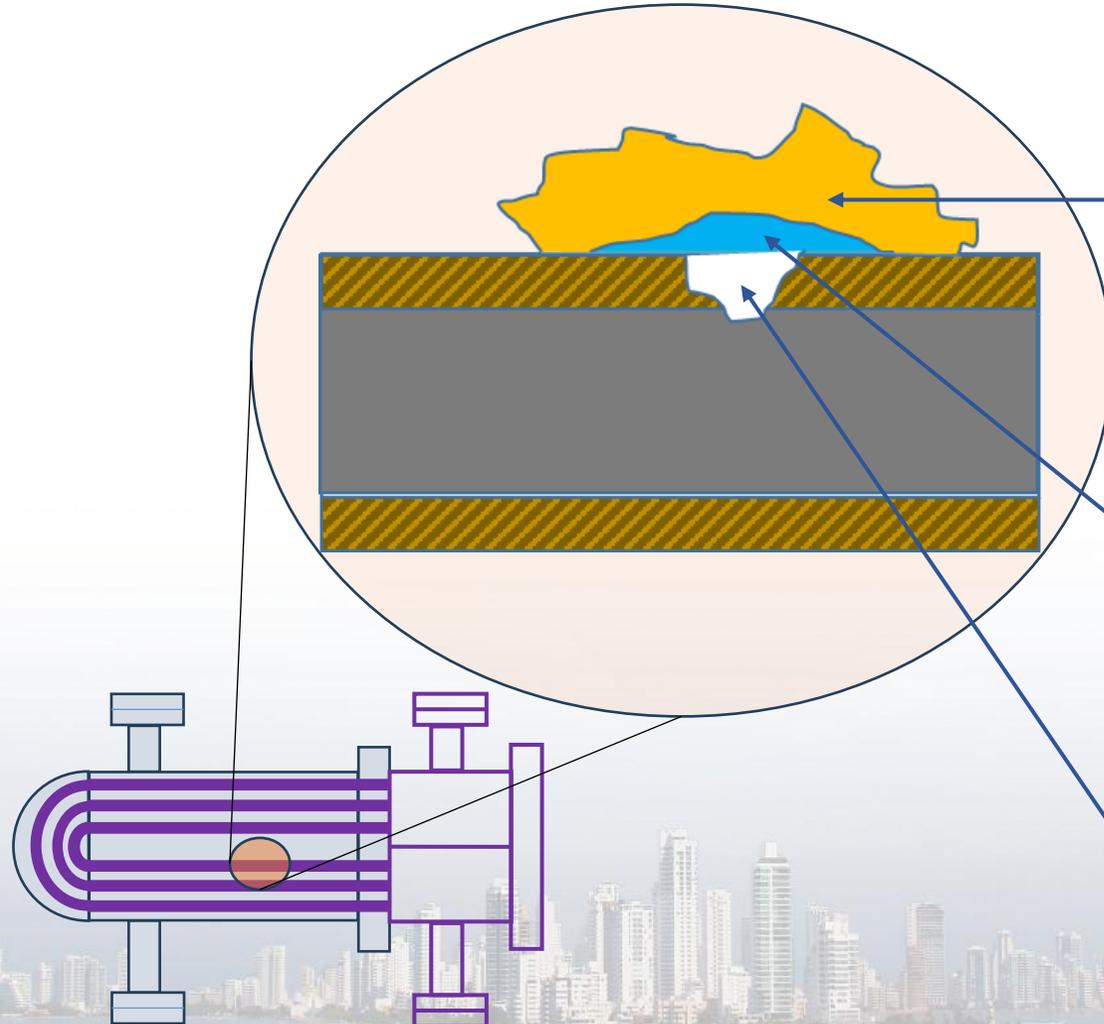
Se evidenció una aceleración en la tasa de ensuciamiento relacionada con eventos previos de ingreso de azufre y otros contaminantes.

Estas contaminaciones estaban enmascaradas dentro de la tendencia general del coeficiente.

Introducción y contexto del caso E-11



Se encontraron depósitos que contenían fluoruros orgánicos e inorgánicos y compuestos azufrados en las paredes del equipo.



Mecanismos de corrosión

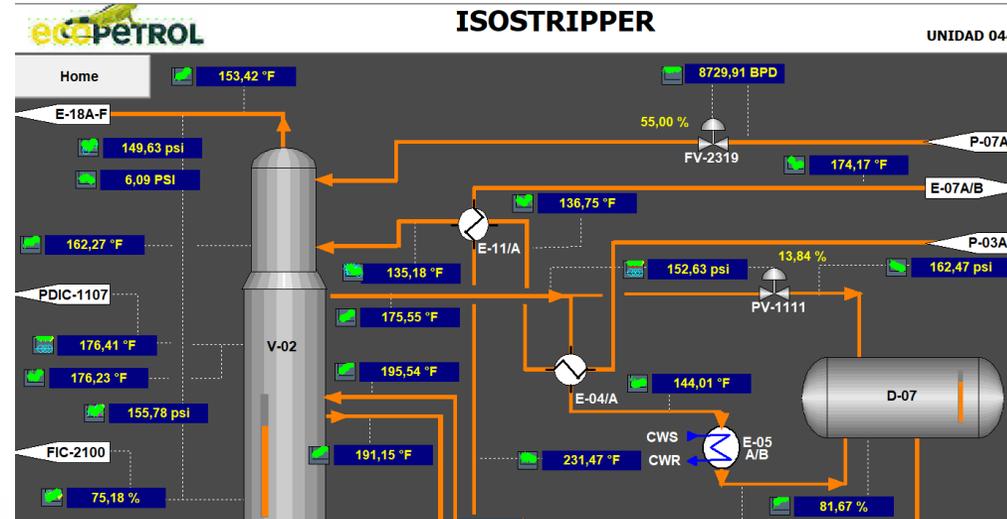
1. Acumulación de depósitos en función de flujos y temperatura (solubilidades y corrosividad)
2. Acumulación de ácido HF bajo los depósitos. HF presente en la corriente:
 - Descomposición térmica de fluoruros, función de temperatura y composición.
 - Pérdida de solubilidad del ácido en hidrocarburo, en función del balance de ácido.
3. Corrosión ácida en función de temperaturas de piel

AGENDA

- ➔ Contexto y conceptualización
- ➔ Desarrollo del modelo de Analítica
 - Introducción y contexto del caso E-11
 - Proceso de configuración del agente de Inteligencia Artificial (IA)
- ➔ Resultados del Modelo
- ➔ Sigüientes pasos
- ➔ Preguntas y respuestas

Proceso de configuración del agente de IA

- 1 Conexión con el historiador
Auditoría y agrupación de Sensores
- 2 Definición de sensores calculados
- 3 Entrenamiento del Agente Predictivo
- 4 Desempeño del aprendizaje
Interpretación de Sensibilidad y F1 Score
- 5 Puesta en marcha: gestión de alertas y
Detección de Patrones de Falla.

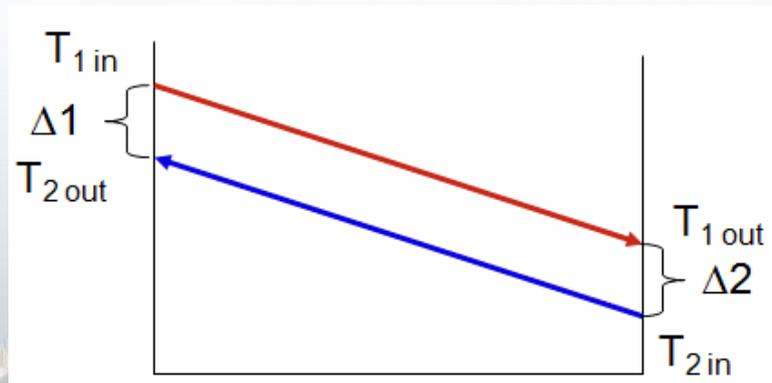
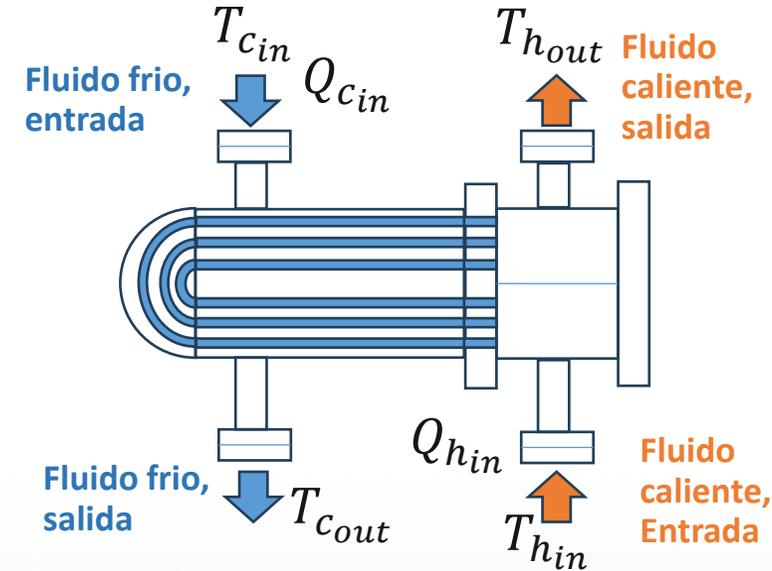


Selección de sensores con alta correlación física con mecanismos de falla

Sensor requerido	Sensor GRC	Descripción GRC
Temperatura de entrada fluido frio	044-TI-1109	Temperatura entrada lado casco E-11/11A
Temperatura de salida fluido frio	044-TI-1563	Temperatura salida lado casco E-11/11A
Temperatura de entrada fluido caliente	044-TI-1087	Temperatura entrada lado tubos E-11/11A
Temperatura de salida fluido caliente	044-TI-1085	Temperatura salida lado tubos E-11/11A
Flujo de fluido frio	044-FIC-1933.MEAS	Isostripper feed
Flujo de fluido caliente	044-FIC-1227.MEAS + 044-FIC-1238.MEAS	Flujo lado tubos

Proceso de configuración del agente de IA

- 1 Conexión con el historiador Auditoría y agrupación de Sensores
- 2 **Definición de sensores calculados**
- 3 Entrenamiento del Agente Predictivo
- 4 Desempeño del aprendizaje Interpretación de Sensibilidad y F1 Score
- 5 Puesta en marcha: gestión de alertas y Detección de Patrones de Falla.



Donde:

A es el área de transferencia

Q es el flujo de calor

LMTD es la temperatura media logarítmica

$$Q = q\rho C_p \Delta T$$

$$U = \frac{Q}{A * LMTD}$$

$$U = \frac{\rho C_p q \Delta T}{A LMTD}$$

$$U_f = \frac{q \Delta T}{LMTD}$$

$$\Delta T_1 = T_{h_{in}} - T_{c_{out}}$$

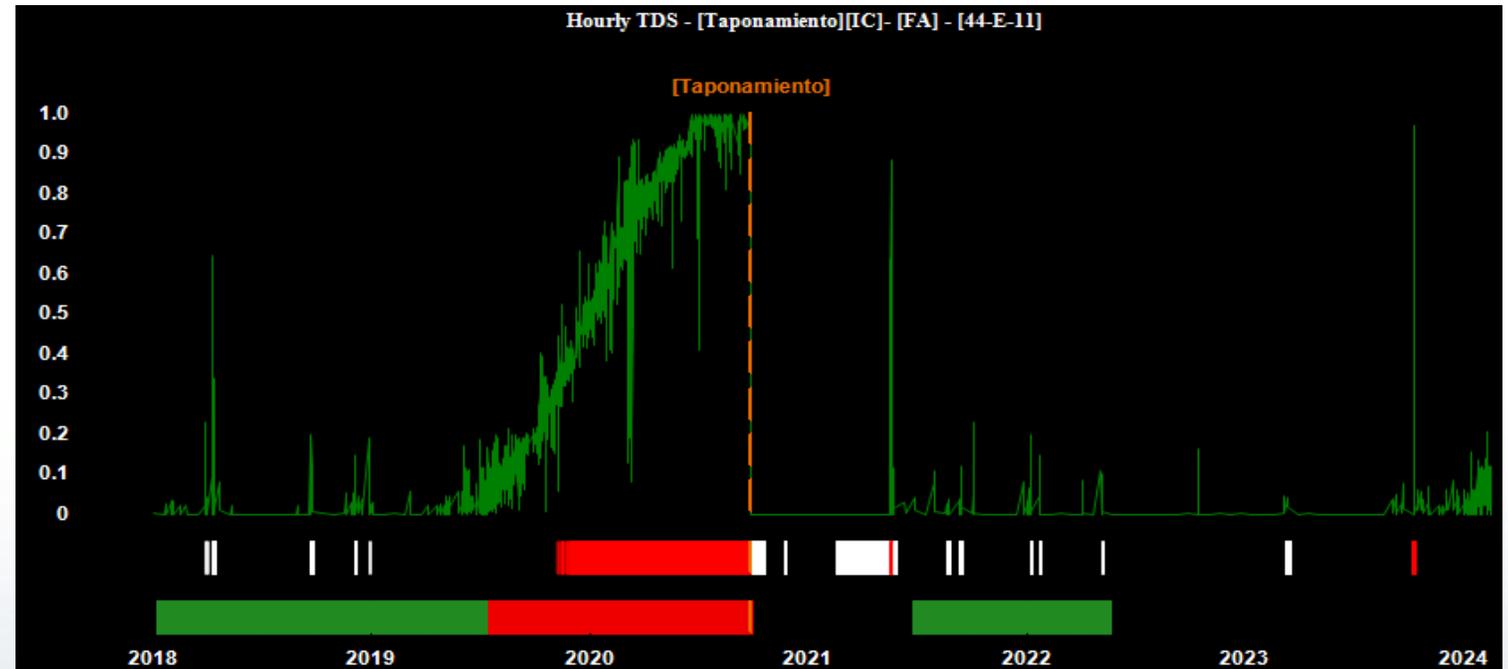
$$\Delta T_2 = T_{h_{out}} - T_{c_{in}}$$

$$LMTD = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\ln\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)}$$

Proceso de configuración del agente de IA

- 1 Conexión con el historiador
Auditoría y agrupación de Sensores
- 2 Definición de sensores calculados
- 3 **Entrenamiento del Agente Predictivo**
- 4 Desempeño del aprendizaje
Interpretación de Sensibilidad y F1 Score
- 5 Puesta en marcha: gestión de alertas y Detección de Patrones de Falla.

El algoritmo ML genera una curva de probabilidad de falla a partir de la información de los sensores previa al evento de falla.



Pre...	Sensor Role
80.72%	LMTD
9.76%	Uf-tubos
3.31%	temperatura entrada lado casco E-11/11A

Proceso de configuración del agente de IA

- 1 Conexión con el historiador
Auditoría y agrupación de Sensores
- 2 Definición de sensores calculados
- 3 Entrenamiento del Agente Predictivo
- 4 **Desempeño del aprendizaje
Interpretación de Sensibilidad y F1 Score**
- 5 Puesta en marcha: gestión de alertas y
Detección de Patrones de Falla.

Sample Learning Performance

	Training
F1 Score	0.803
Sensitivity	0.670
Precision	1.000
True Positives	7038
False Positives	0
True Negatives	20806
False Negatives	3462
Number of Samples	31306

- Aplicación de Técnicas de suavizado y validación para garantizar estabilidad del modelo
- Recalibración periódica, validación cruzada y monitoreo de desempeño en tiempo real.

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precisión} \times \text{Sensibilidad}}{\text{Precisión} + \text{Sensibilidad}}$$

Donde

$$\text{Precisión} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP + FN}$$

Donde:

- TP (True Positives): Son las instancias positivas correctamente clasificadas.
- FN (False Negatives): Son las instancias positivas incorrectamente clasificadas como negativas.

AGENDA

- ➔ Contexto y conceptualización
- ➔ Desarrollo del modelo de Analítica
 - Introducción y contexto del caso E-11
 - Proceso de configuración del agente de Inteligencia Artificial (IA)
- ➔ Resultados del Modelo
- ➔ Sigüientes pasos
- ➔ Preguntas y respuestas

Resultados del modelo

- 1 Conexión con el historiadador Auditoría y agrupación de Sensores
- 2 Definición de sensores calculados
- 3 Entrenamiento del Agente Predictivo
- 4 Desempeño del aprendizaje Interpretación de Sensibilidad y F1 Score
- 5 Puesta en marcha: gestión de alertas y Detección de Patrones de Falla.

El modelo alimenta la PoF dinámica, complementando la **planificación de tareas de inspección y mantenimiento basadas en riesgo.**

Visualización de variables mas influyentes (facilita el análisis del evento)

Detección Temprana: Caso 1 de Abril 2024



Resultados del modelo

- 1 Conexión con el historiadador
Auditoría y agrupación de Sensores
- 2 Definición de sensores calculados
- 3 Entrenamiento del Agente Predictivo
- 4 Desempeño del aprendizaje
Interpretación de Sensibilidad y F1 Score
- 5 Puesta en marcha: gestión de alertas y
Detección de Patrones de Falla.

Detección Temprana:
Caso 1 de Abril 2024

Incidentes por severidad

 Falla
  Anomalia
  Otros incidentes

Críticidad	Muy alta	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -
	Alta	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 1  -  -	 -  -  -
	Media	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -
	Baja	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -
	Muy baja	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -	 -  -  -
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

➤ Se llevó a cabo un análisis interdisciplinario

➤ Se identificaron las restricciones en el flujo del intercambiador E-11 debido a obstrucciones aguas arriba.

➤ Se implementó un plan correctivo para restablecer la operación confiable y prevenir una falla similar a la de 2020.

AGENDA

- ➔ Contexto y conceptualización
- ➔ Desarrollo del modelo de Analítica
 - Introducción y contexto del caso E-11
 - Proceso de configuración del agente de Inteligencia Artificial (IA)
- ➔ Resultados del Modelo
- ➔ Sigüientes pasos
- ➔ Preguntas y respuestas

Integración con el análisis de condición del activo

Decisiones basadas en riesgo dentro de la gestión de activos

1

Identificación de modos de Falla y mecanismos de degradación

RBI/RCM/RCA/LOPA/FTA

Priorización

2

Identificación de variables sensorizadas, asociadas.

Configuración

3

Funciones de Probabilidad de Falla, basadas en patrones e históricos. (Machine Learning)

4

Actualización dinámica y en línea de agentes preventivos

Implementación

5

Análisis de alertas, acciones basadas en riesgo y realimentación del modelo IA.



Siguientes pasos

Fortalecer Apropiación del conocimiento en los usuarios finales (Ingeniería, operaciones, mantenimiento)



Desarrollo e implementación FASE 2 + 150 Activos



Modelo de Analítica Avanzada incorporado en el proceso de gestión de activos y ciclo de planeación empresarial



AGENDA

- ➔ Contexto y conceptualización
- ➔ Desarrollo del modelo de Analítica
 - Integración de modelos predictivos IA con la gestión de Integridad y Confiabilidad
 - Introducción y contexto del caso E-11
 - Proceso de configuración del agente de Inteligencia Artificial (IA)
- ➔ Resultados del Modelo
- ➔ Sigüientes pasos
- ➔ Preguntas y respuestas