



Gemelo Analítico (Digital Twin) sobre Bombas de Inyección y Recobro de Agua

Edwin Cordoba (Ecopetrol)

Oscar Hoyos (Uptime Analytics)





Agenda

- Oportunidad
- Alcance
- Tecnología
- Implementación y retos
- Resultados
- Beneficios
- Próximos pasos





Oportunidad



Confiabilidad

¿Cómo puedo predecir fallas en tiempo real utilizando variables de proceso/físicas?

Operaciones

¿Qué cambios debo hacer en mi activo industrial para volver a mis puntos de mayor eficiencia y de menor vibración sin impactar el objetivo operativo?

Energía

¿Estoy alcanzando mis metas energéticas en términos de desempeño energéticos y TonCO2?



Alcance

15 bombas inyección agua VRO para recobro y disposición en Campos de Castilla y Chichimene. Bombas tipo centrífugas multietapas HPS y BB3. Escalable a todo tipo de equipos rotativos.

- Diferencias en instrumentación
- Contextos operativos distintos
- Modos de falla particulares

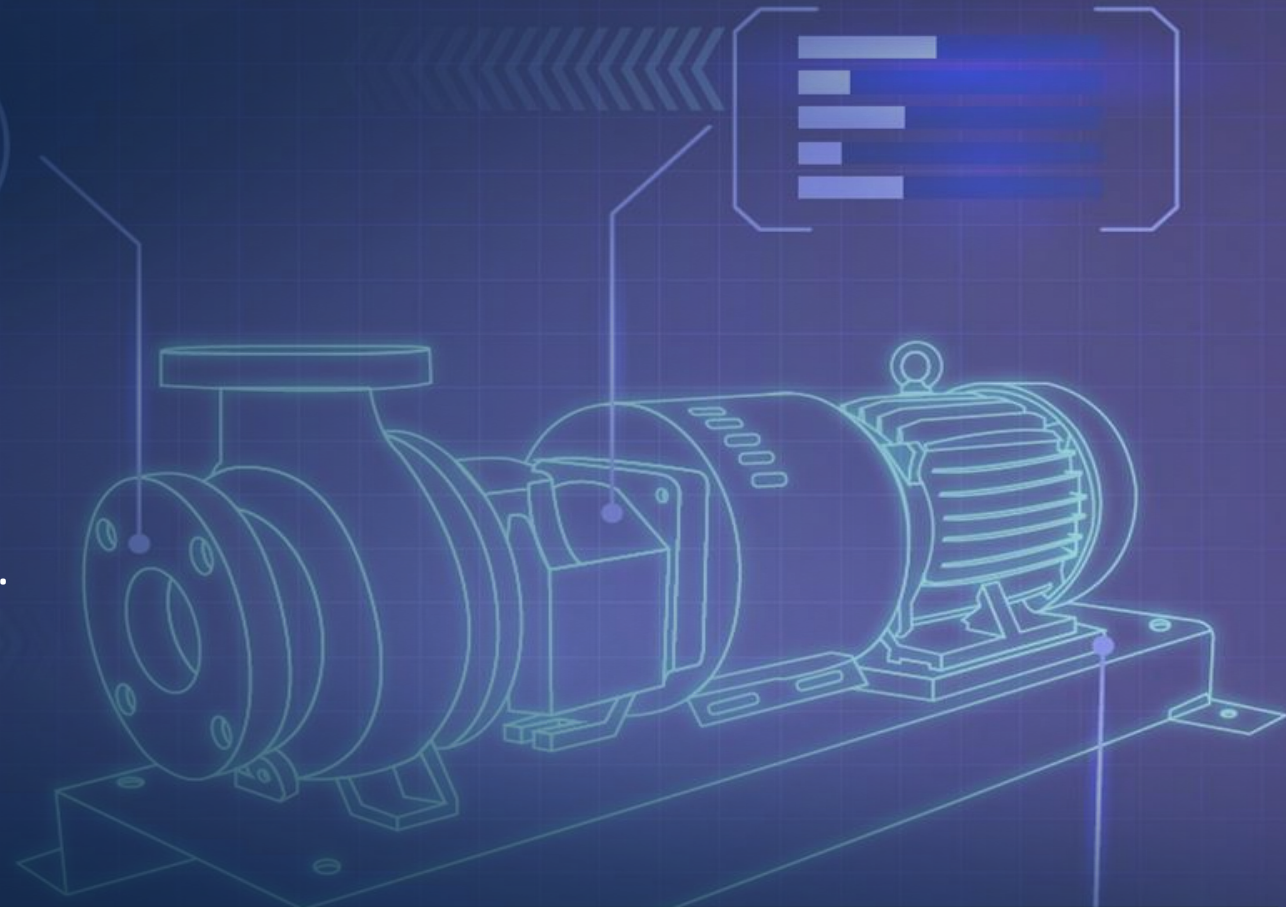




TECNOLOGÍA - GEMELO ANALÍTICO

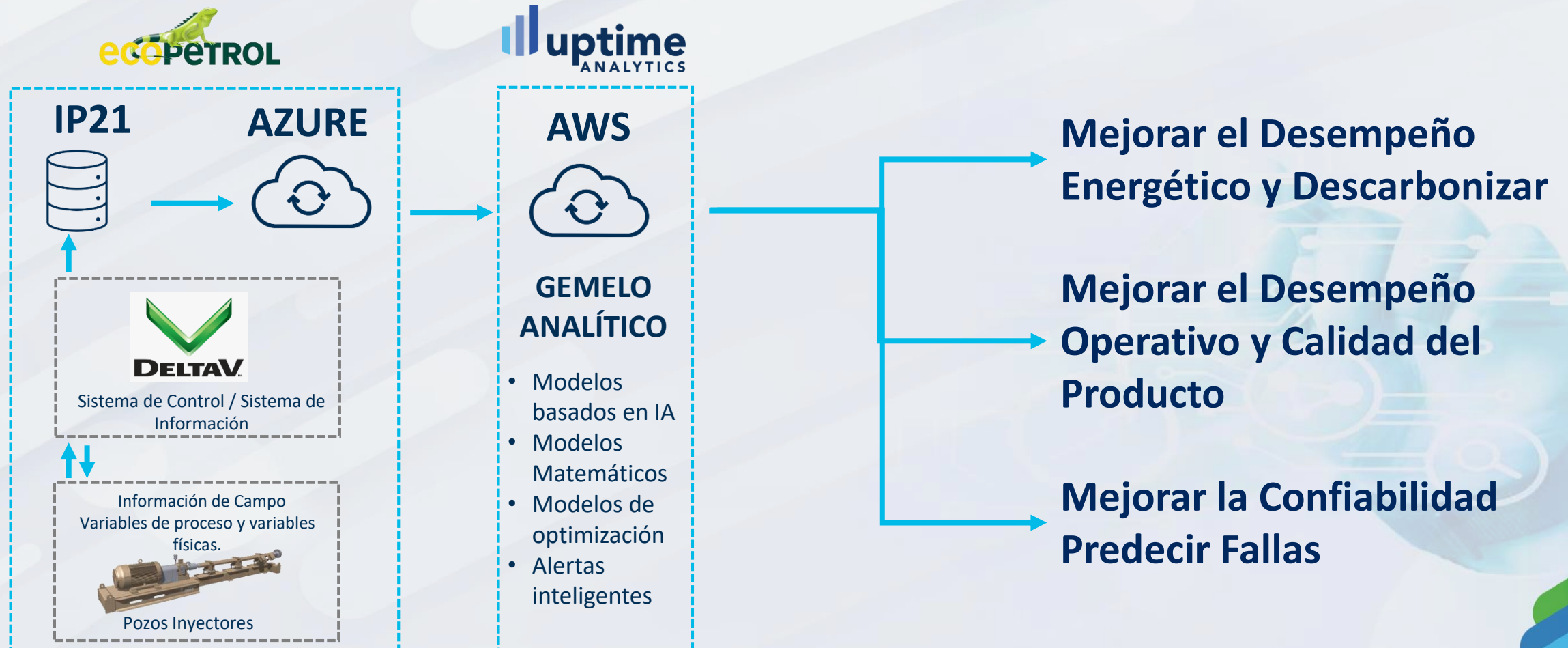


Representación numérica de un sistema industrial, que permite **analizar, optimizar, predecir y prescribir** en un entorno digital, considerando los datos operativos, productivos, energéticos, de mantenimiento y calidad, para generar recomendaciones en línea, que son presentadas a través de una plataforma web en forma de Dashboards Dinámicos.





TECNOLOGÍA - CONEXIÓN





Implementación

Módulo Desempeño Energético

- Cumplimiento ISO 50001
- Monitoreo y cuantificación del desempeño energético, desempeño económico, ahorros, eficiencias, índices de consumo y gases de efecto invernadero (GEI).
- Comparación en tiempo real del consumo energético base (Línea base) contra consumo real.
- Cuantificación de impactos en consumo energético de mejoras por operación, mantenimiento y/o cambios tecnológicos.
- Benchmark energético entre equipos.

Módulo Desempeño Operativo

- Recomendación en tiempo real a través de un Optimizador Operativo (basado en IA) a partir de datos de entrada: Flujo, Presión, Eficiencia, Vibraciones.
- Ubicación en tiempo real del desempeño en la curva de cada Unidad
- Variables Operativas directas y calculadas por Unidad o Sistema
- Cumplimiento Operativo
- Caracterización de la operación.

Módulo Predicción & Prescripción

- Módulo de detección de anomalías de tipo operativas y de mantenimiento
- Predicción de vibraciones teniendo como entrada las variables del contexto operativo.
- Módulo Prescriptivo
- Incorporación de Reglas de Negocio: Modos de Falla históricos conocidos.
- Metodología para “taggear” anomalías con modos de fallas, si el patrón vuelve a ocurrir en este equipo u en otro alertar por el modo de falla.





Retos en la implementación

- Falta o fallas en de instrumentación → Sensores virtuales
- Apropiación de la tecnología → Capacitaciones
- Cambios en la operación → Rentrenamientos automáticos de los modelos
- Escalamiento y replicabilidad → Modelos de datos y predicción escalables
- Falta de estandarización en la instrumentación → Definir instrumentación mínima necesaria por tipo de equipo





Resultados - Módulo Desempeño Energético



- La tecnología detectó una desviación de consumo energético dada por la operación de la bomba B, coincidió con una falla eléctrica de la bomba.
- En 6 meses de etapa de pilotaje se reportan más de 460 TCO2 y 1,1 MWh de ahorros en consumo energético.

Arreglos y eficiencia 7545



Arreglo: 4 bombas con mayor eficiencia sin la bomba B

Arreglo: 4 bombas con menor eficiencia con la bomba B

Desempeño Energético 7545



Sobre consumo energéticos

Ahorros energéticos

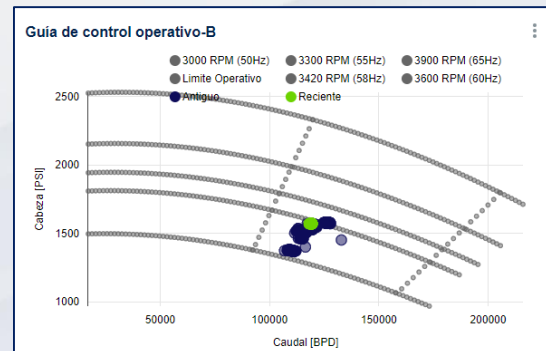


Resultados - Módulo Desempeño Operativo



- Operar con 4 bombas en lugar de 5 para cumplir con mismo requerimiento operativo generó un ahorro de **801,7 kW** y **\$240,509 COP/h**.
- Para el mes se estima un ahorro de **\$173,166,934 COP**, por energía eléctrica **577,224 kWh**, **203 ToCO2eq** y **20,318,284 COP** adicionales considerando el precio sobre de \$25 USD/TonCO2eq.

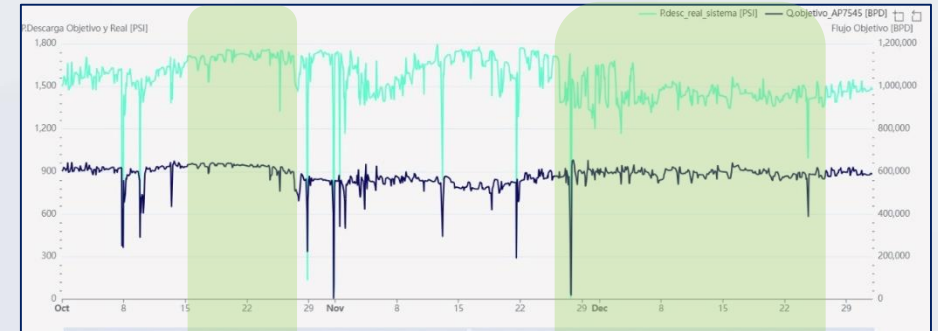
Caracterización en línea



Optimizador en línea



Requerimiento Operativo (Caudal & Pdecar)



Arreglos y eficiencia 7545



Arreglo: 5 bombas,
eficiencias del 87%

Arreglo: 4 bomba
con eficiencias
del 90%

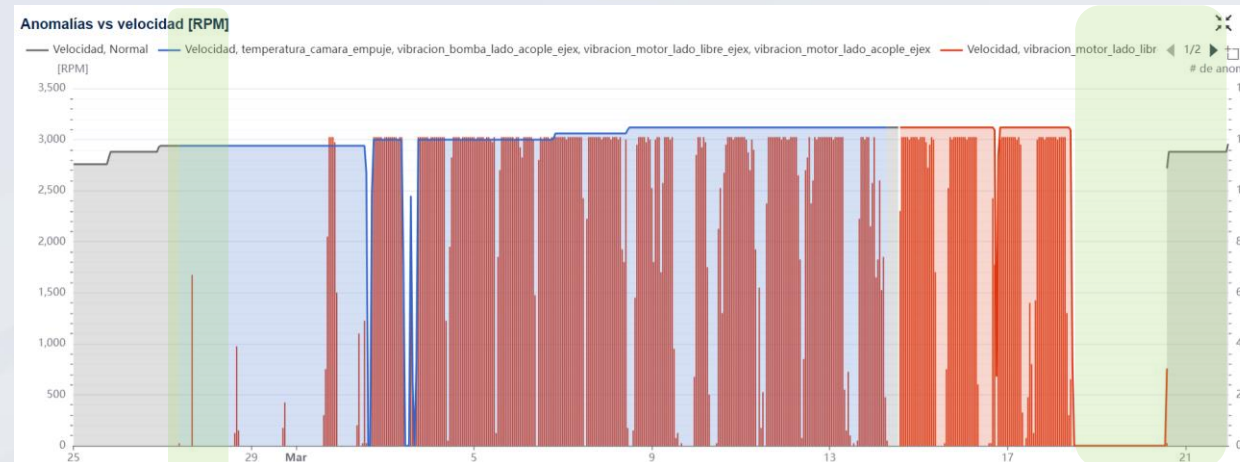


Resultados - Módulo Predicción y Prescripción



- **Equipo:** Bomba de inyección de agua del SW40 del CL36
- **Duración de anomalía:** 20 días
- **VARIABLES ANÓMALAS:**
 - Vibración motor lado libre X: >90%
 - Vibración bomba lado acople X: <3%
 - Vibración motor lado acople X: <1%
 - Temperatura cámara de empuje: <1%
- **Modo de falla:** Bomba no nivelada por pernos sueltos
- **Ahorro:** Anticiparse a la Falla ahorro alrededor de **\$30,000 USD**

Fecha inicio	Fecha fin	# de eventos anómalos	Porcentaje de aparición	Porcentaje ponderado	Duración de anomalía	Tipo de anomalía	Tiempo entre anomalías
2024-03-14 14:08:57	2024-03-20 14:08:04	8221	vibracion_motor_lado_libre_ejex: 1.0	vibracion_motor_lado_libre_ejex: 1.0	5 days 23:59:07	vibracion	0 days 00:01:03.051575
2024-02-27 09:07:05	2024-03-14 07:06:39	27756	temperatura_camara_empuje: 0.0 vibracion_motor_lado_libre_ejex: 0.97 vibracion_bomba_lado_acople_ejex: 0.03 vibracion_motor_lado_acople_ejex: 0.0	temperatura_camara_empuje: 0.0 vibracion_motor_lado_libre_ejex: 0.97 vibracion_bomba_lado_acople_ejex: 0.03 vibracion_motor_lado_acople_ejex: 0.0	15 days 21:59:34	vibracion	0 days 00:00:49.545107



Inicio de anomalía

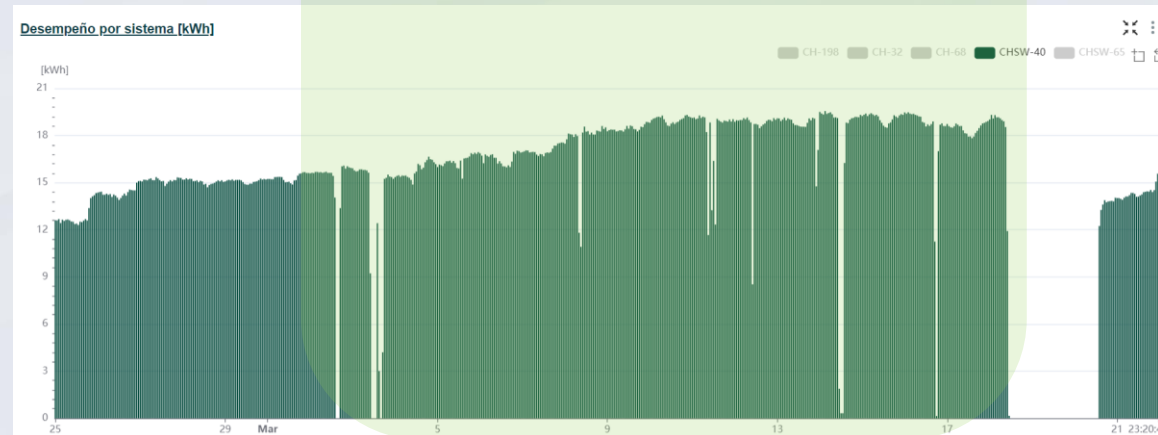
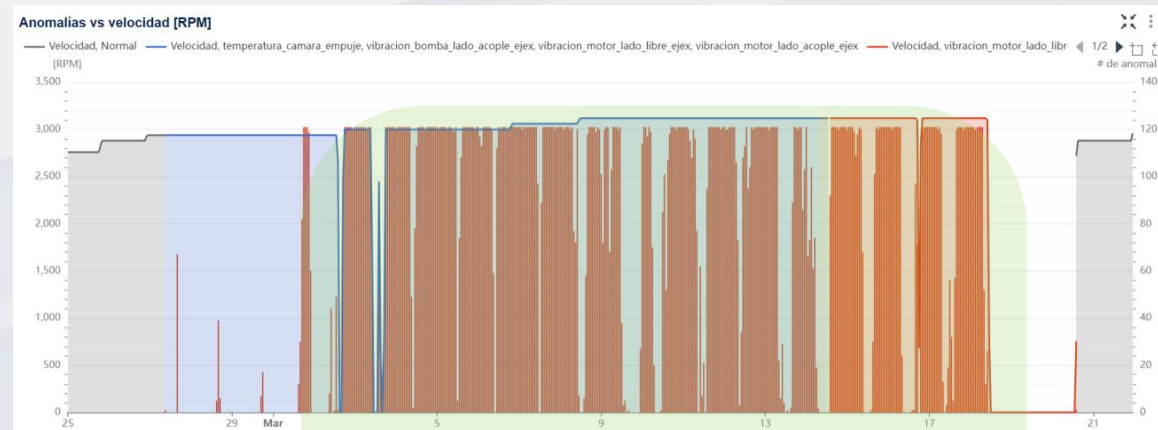
Después del mantenimiento desaparecieron las anomalías



Resultados - Módulo Predicción y Prescripción



- Impacto de la anomalía en el desempeño energético
- La anomalía generó **un 33% más de consumo de energía y emisiones CO2.**
- Después de corregida la anomalía volvimos a niveles de desempeño energético “normales”





Resultados - Resumen Gerencial



- Consolida lo más relevante de los módulos con el objetivo de realizar un diagnóstico rápido de todos los sistemas/bombas.

Entender contexto operativo actual

Bomba	Flujo promedio [BPD]	P.Descarga promedio [PSI]	Velocidad promedio [RPM]	Potencia promedio [kW]	Tiempo encendido [h]	Tiempo encendido [%]
AP7545B	147,824	1,659	3,359	4,110	29.7	100.00%
AP7545C	153,706	1,659	3,383	3,838	29.7	100.00%
AP7545D	156,071	1,659	3,434	3,395	29.7	100.00%
AP7545E	151,583	1,662	3,425	3,054	29.7	100.00%
Totals	609,184	1,660	3,400	3,599	29.7	100.00%

Operativa: tiempo fuera de la guía operativa y eficiencia por unidad

Energía: ahorros económicos, emisiones y en energía

Condición: tiempo y variables en anomalía

Bomba	Porcentaje fuera de guía [%]	Tiempo fuera de guía [h]	Eficiencia [%]	Optimización consumo energético [kWh]	Reducción de emisiones [TonCO2eq]	Optimización de costos [\$COP]	Tiempo en anomalía [%]	Variable más anomala
AP7545B	0.0%	0.00	75.77%	4,873	1,857	1,072,093	N/A	N/A
AP7545C	0.0%	0.00	84.42%	2,950	1,124	648,988	86.7%	vibracion_bomba_lado_libre_ejey
AP7545D	0.0%	0.00	96.90%	2,707	1,032	595,627	60.8%	vibracion_bomba_lado_acople_ejex
AP7545E	0.0%	0.00	104.79%	4,334	1,651	953,438	1.1%	temperatura_motor_rod_interno
Totals	0.0%	0.00	90.47%	14,864	5,663	3,270,146	49.5%	temperatura_motor_rod_interno



Beneficios intangibles

- Personal operativo más consciente en la toma de decisiones de datos
- Solución que reúne varias áreas
- Consciencia energética en la operación
- Herramienta para reportar de forma dinámica la reducción de emisiones CO2
-





▶▶ Resultados – Próximos pasos

- Industrialización VRO
- Bombas Electrosumergibles (BES)
- Escalamiento a otros equipos Rotativos

