



Ingeteam ELECTRIFYING A SUSTAINABLE FUTURE



Ingeteam

ELECTRIFYING
A SUSTAINABLE FUTURE

OUR VALUES



Electric power conversion



Clients' needs



Our people



Continuous Innovation



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

ÍNDICE

Inteligencia Artificial Generativa y
LLMs

Anatomía de Centro de Control

Casos de uso eólicos

Conclusiones



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Inteligencia Artificial Generativa y LLMs

OPORTUNIDAD

LLMs destacan:

- ❑ Comprensión y generación de lenguaje natural.
- ❑ Comprensión de datos no estructurados.
- ❑ Capacidad de razonamiento.
- ❑ Rápida evolución.

RETO

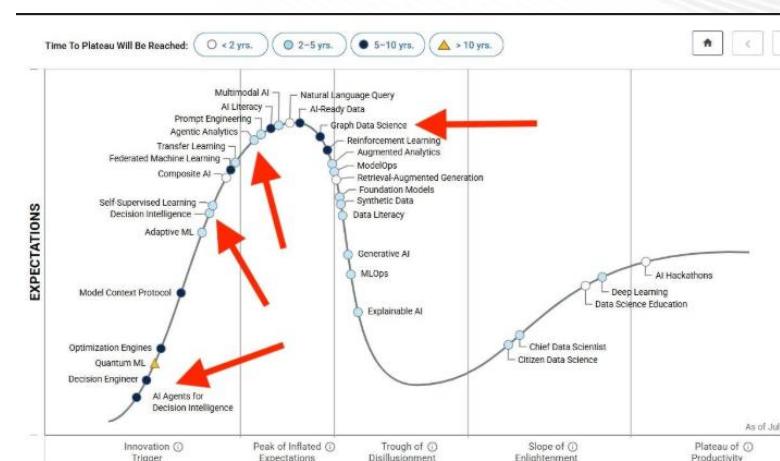
“You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics.”



Robert Solow, 1987

“The 95% failure rate for enterprise AI solutions represents the clearest manifestation of the GenAI Divide”

“The GenAI Divide: State of AI in Business 2025”, MIT



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

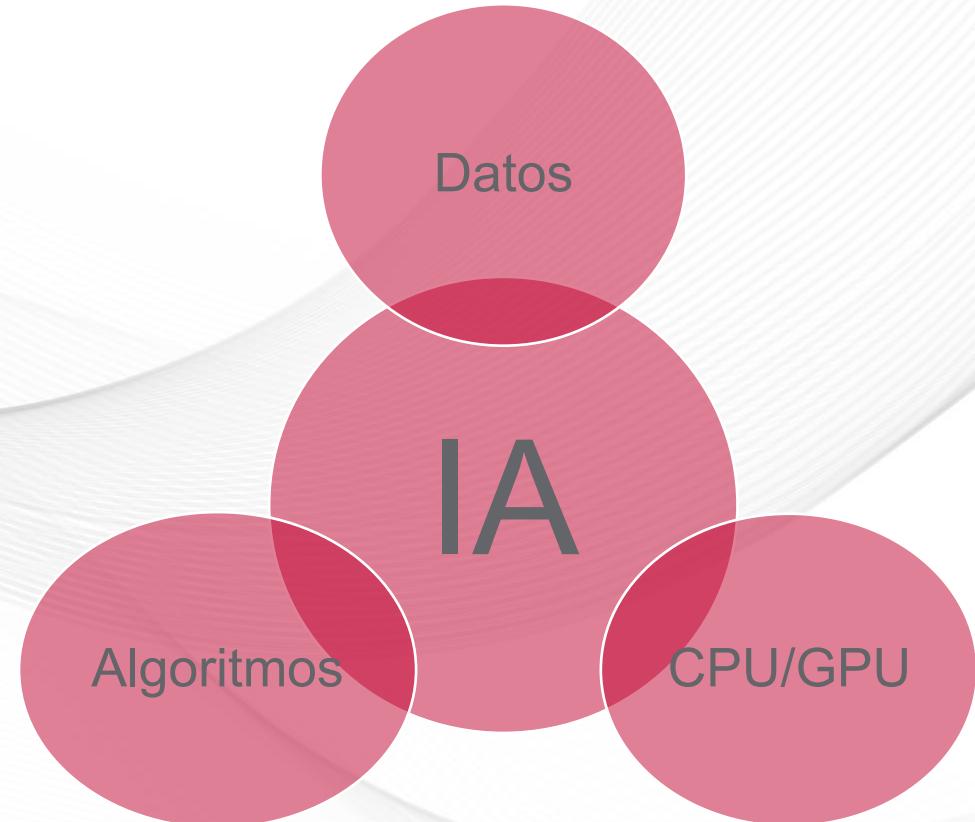
Inteligencia Artificial Generativa y LLMs

DATOS - Openness

El 80% del esfuerzo en ML se dedica a recopilar, limpiar y estructurar datos (no a ajustar algoritmos).

Los datos son clave ; embeben el conocimiento vertical específico (RAG) => *prompt engineering | context engineering*

Algoritmos y computación están disponibles como LLMs en el mercado (APIs como OpenAI o Gemini, o Deep Seek).



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Inteligencia Artificial Generativa y LLMs

LLM



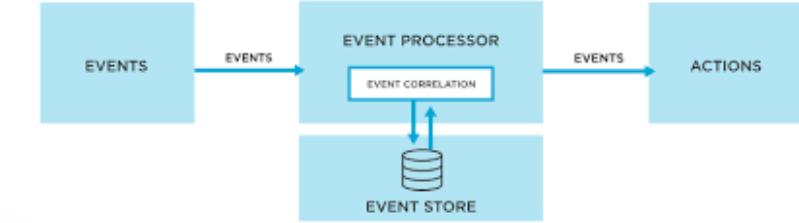
Pros:

- Comprensión de datos no estructurados.
- Capacidad de razonamiento.
- Tecnología habilitadora generalista.
- Interfaz natural: lenguaje.
- Rápida evolución.

Cons:

- No deterministas.
- Alucinaciones.
- Opacidad.

CEP



Pros:

- Procesamiento en tiempo real
- Simplicidad de reglas declarativas.
- Determinismo.
- Bajo coste computacional.
- Madurez.

Cons:

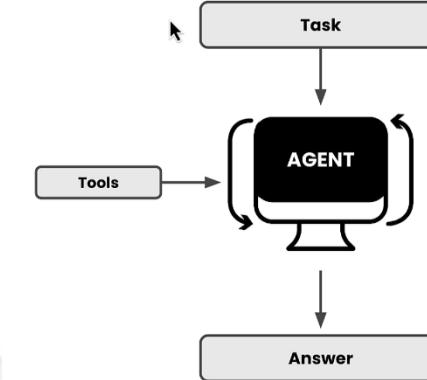
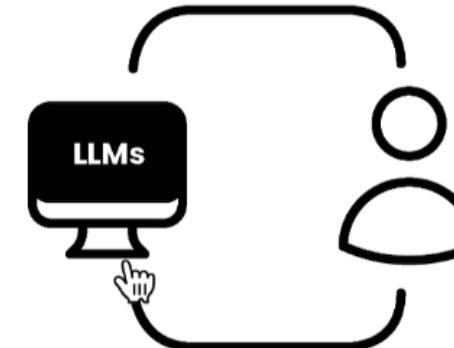
- Dependencia de reglas explícitas.
- No generalización.
- Complejidad de reglas.
- Rigidez: dificultad de incorporar información no estructurada.

COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Inteligencia Artificial Generativa y LLMs

Agentes IA

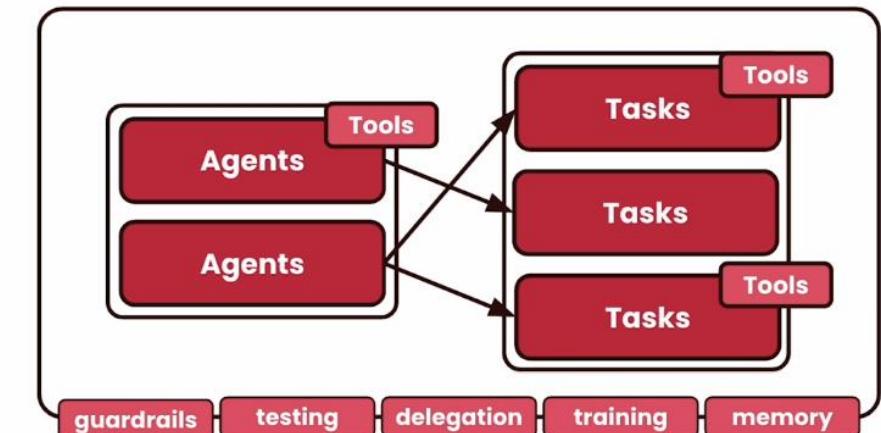
- Autonomía
- Proactividad y planificación
- Interacción entre agentes
- Memoria de corto/largo plazo
- Tools



Arquitecturas multi agente => orquestación

Especialización de agentes y división del trabajo: analizador de manuales, diagnosticador de alarmas, evaluador de riesgo de incendio, analista de KPIs de ML,..

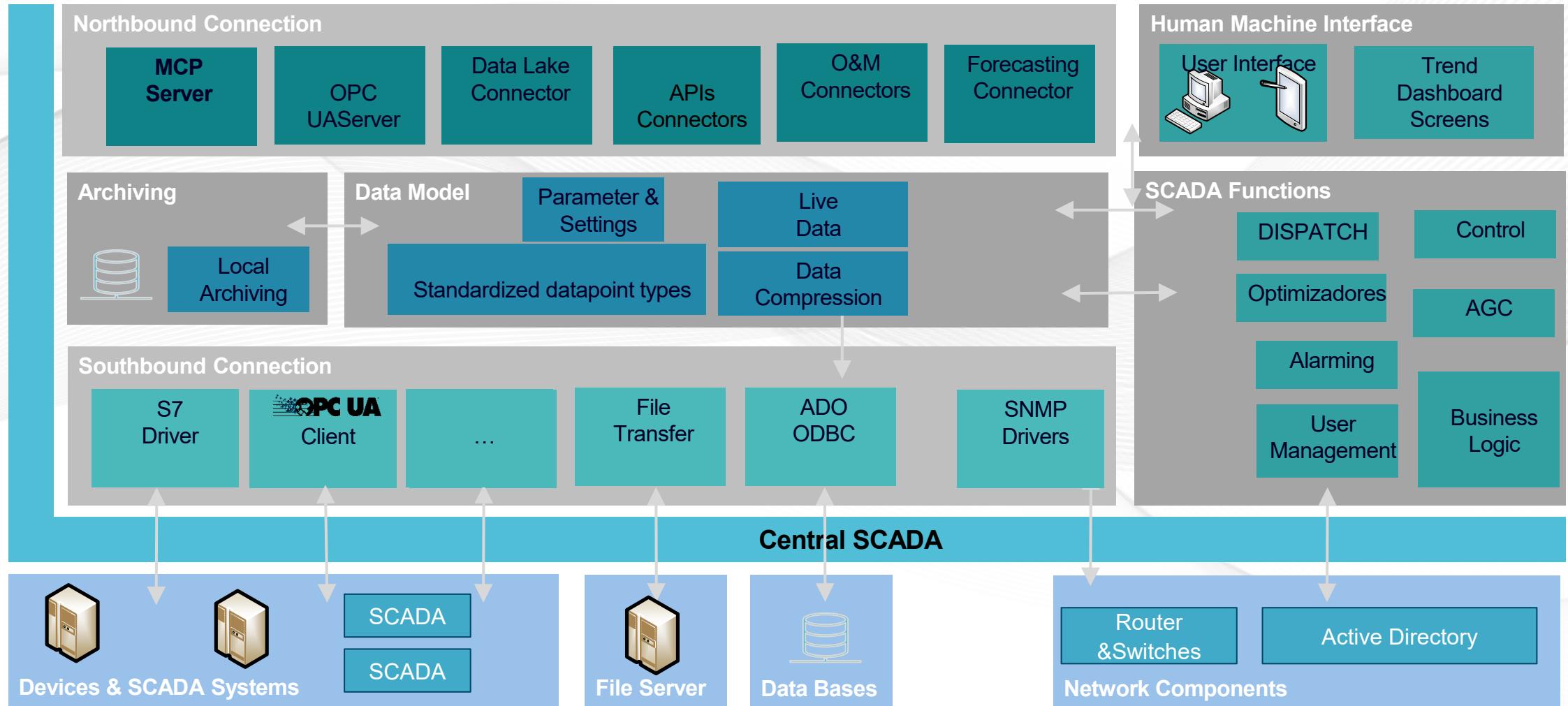
Cada agente emplea un LLM distinto o con ajustes (“personalidad”) diferente.



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Centro de Control

Estructura modular y abierta



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Centro de Control

Necesidades

Necesidades primarias

Adquisición y calidad de datos
Conectividad y drivers de comunicación.
Gran consumo de recursos y esfuerzo.



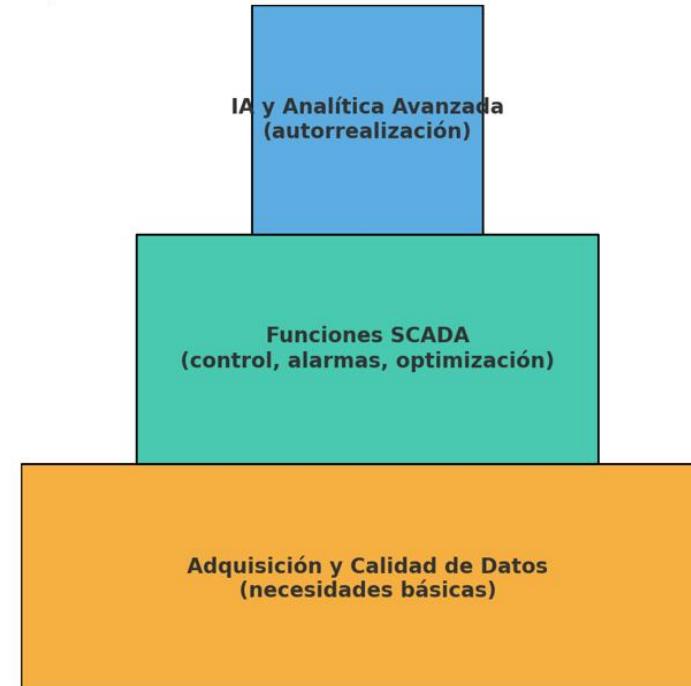
Capa intermedia (funciones SCADA):

Control, alarmas, seguridad operativa
Gestión de usuarios, lógica de negocio
Optimización de la operación

Capa superior (valor añadido):

Analítica avanzada (ML)
Forecasting y optimizadores
Agentes IA
Dashboards

La pirámide de Maslow del Centro de Control



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Casos de Uso - Copilots

**COPILOTS
CENTRO DE
CONTROL**

INGETEAM Copilot Operación: Operación inteligente de WTGs

INGETEAM Copilot O&M: Diagnóstico inteligente de salud de WTG y asistencia de O&M de WTGs



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Casos de Uso - Copilots

Contexto: flujos de información en Operación de WTGs

Real Time data

WTG Alarms, States

Machine Learning KPIs

Dispatch

Forecasts

Contracts & Budget

Operator Notes

O&M records

User Guides

OEM Procedures

Internal Technical Docs



OPERATION

COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Casos de Uso - Copilots

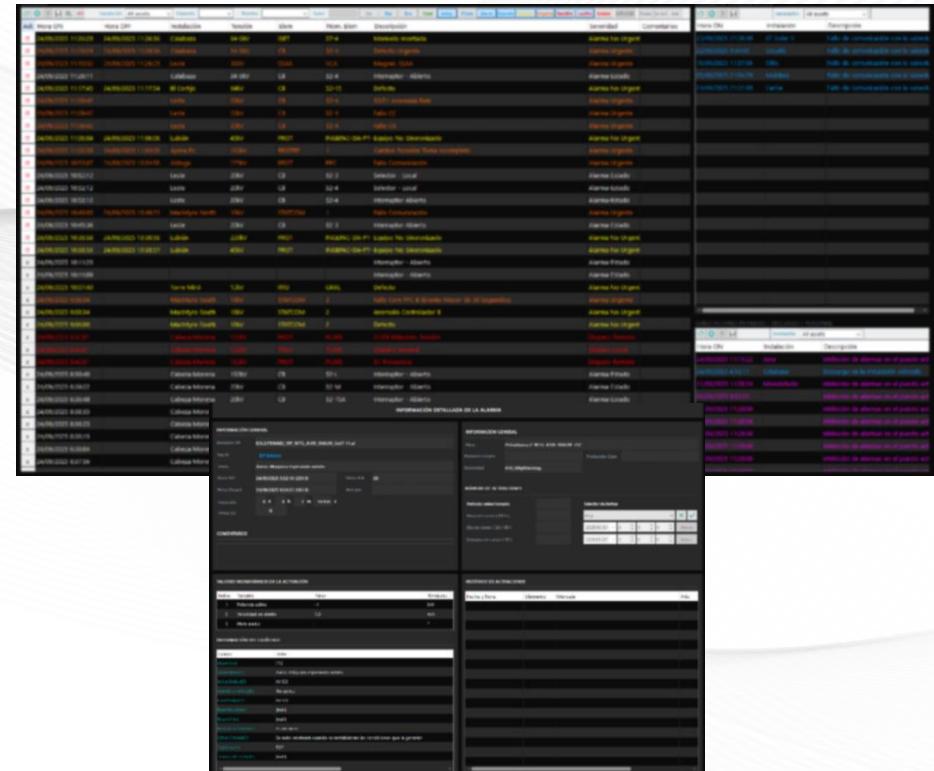
Operación Inteligente de WTGs

Cuando un WTG deja de producir, ¿qué acción debe tomar el operador desde el Centro de Control?

RETO: sobrecarga de información

Objetivos:

- ASISTENCIA:** mejorar la comprensión del contexto de los operadores
- AUTOMATIZAR** operaciones rutinarias
- SEGURIDAD:** mejorar la seguridad mediante una mejor comprensión del contexto de la WTG



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Casos de Uso - Copilots

Copilot de Operación

Se genera un informe al Operador con recomendación, justificación, información de apoyo para la WTG solicitada

Análisis de la secuencia de alarmas

1) Estado actual del aerogenerador:

El aerogenerador AL608 se encuentra en estado "Emergencia", sin producción, tras una secuencia de alarmas de emergencia y fallo. La última alarma activa es una emergencia general y fallo del test del polo (1801).

2) Recomendación de actuación:

Se recomienda verificar en campo la causa raíz de la alarma 1801 y el estado del sistema antes de intentar cualquier rearme. No realizar rearme remoto hasta diagnóstico presencial.

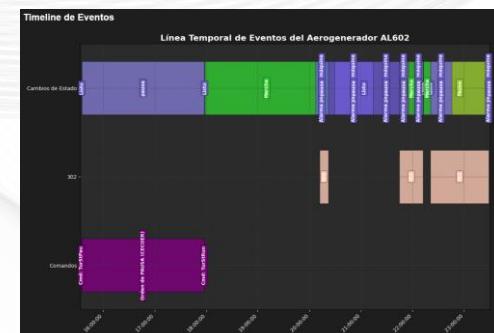
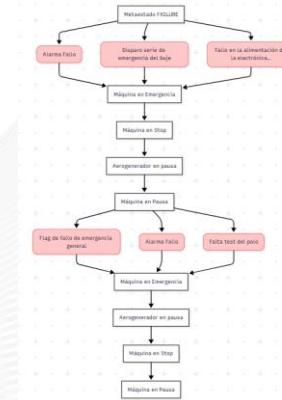
3) Resumen ejecutivo de las alarmas resp
Las paradas y el cambio a estado de emerg
provocan la transición de la máquina a estad

- 1801: "Falta test del polo". Criterio: No se recibe el modo OK del test del polo en los tiempos definidos estando en Pausa/Marcha. Reacción: Emergencia. Reset: Automático tras 6h, a Pausa tras 5 min. Disponibilidad: No.
 - 907: "Disparo serie de emergencia hub". Criterio: La serie de emergencia del Hub permanece abierta. Reacción: Emergencia. Reset: Automático tras 6h. Disponibilidad: No.
 - 5225: "Fallo en la alimentación de la electrónica analógica". Criterio: Falta la monitorización de la tensión de alimentación. Reacción: Emergencia. Reset: Automático tras 6h, a Pausa tras 5 min. Disponibilidad: No.
 - 911: "Paso Emergencia-Reset local". Criterio: Cambio a reacción local por rellamada de emergencia. Reacción: Emergencia. Reset: Local. Disponibilidad: No.
 - 2116: "Cambio de reset a local". Criterio: Cambio de criterio de reset de alguna alarma. Reacción: Aviso. Reset: Manual. Disponibilidad: Sí.

En suma, el aerogenerador está detenido por repetición de emergencias ligadas a fallos críticos eléctricos/internos. No se debe rearmar remoto sin verificación presencial, dado el criterio de "Emergencia" y la no disponibilidad asociada a estos códigos.

Tabla resumen de alarmas

CodigoAlarma	priority	num_activations	is_active	TextoAlarma	CriteriaDisparo	Reacción	Reset	ResetCodeTrimmed	Severity
1801	40	4	1	Falta test del polo	Esta alarma se activa si se produce alguna de las siguientes dos condiciones: - Cuando está en PAUSA y solicita MARCHA, no se recibe el modo OK del test del polo durante más de 120 segundos. [cita: 769] - Cuando está en MARCHA y el modo OK del test del polo no se recibe durante más de 120 segundos. [cita: 770]	Emergencia	B2 (6h)	B2	Se
2116	10	1	1	Cambio reseteo Remoto->Local	Alguna alarma cambia su criterio de auto a local. [cita: 812]	Aviso	E	E	Se
5225	40	1	0	Fallo en la alimentación de la electrónica analógica	Se produce instantáneamente, si falla la monitorización interna de la tensión de alimentación de la electrónica analógica del control. [cita: 842]	Emergencia	B2 (6h) tras 5 m a Pausa	B2	Se
907	40	1	0	Disparo serie de emergencia hub	La serie de emergencia del Hub permanece abierta. [cita: 758]	Emergencia	B2 (6h)	B2	Se
911	50	1	1	Paso Emergencia-Reset local	Se ha producido un cambio en la reacción de una alarma por reiteradas apariciones de la misma. [cita: 760] Paso a emergencia reseteable localmente.	Emergencia	A	A	Se



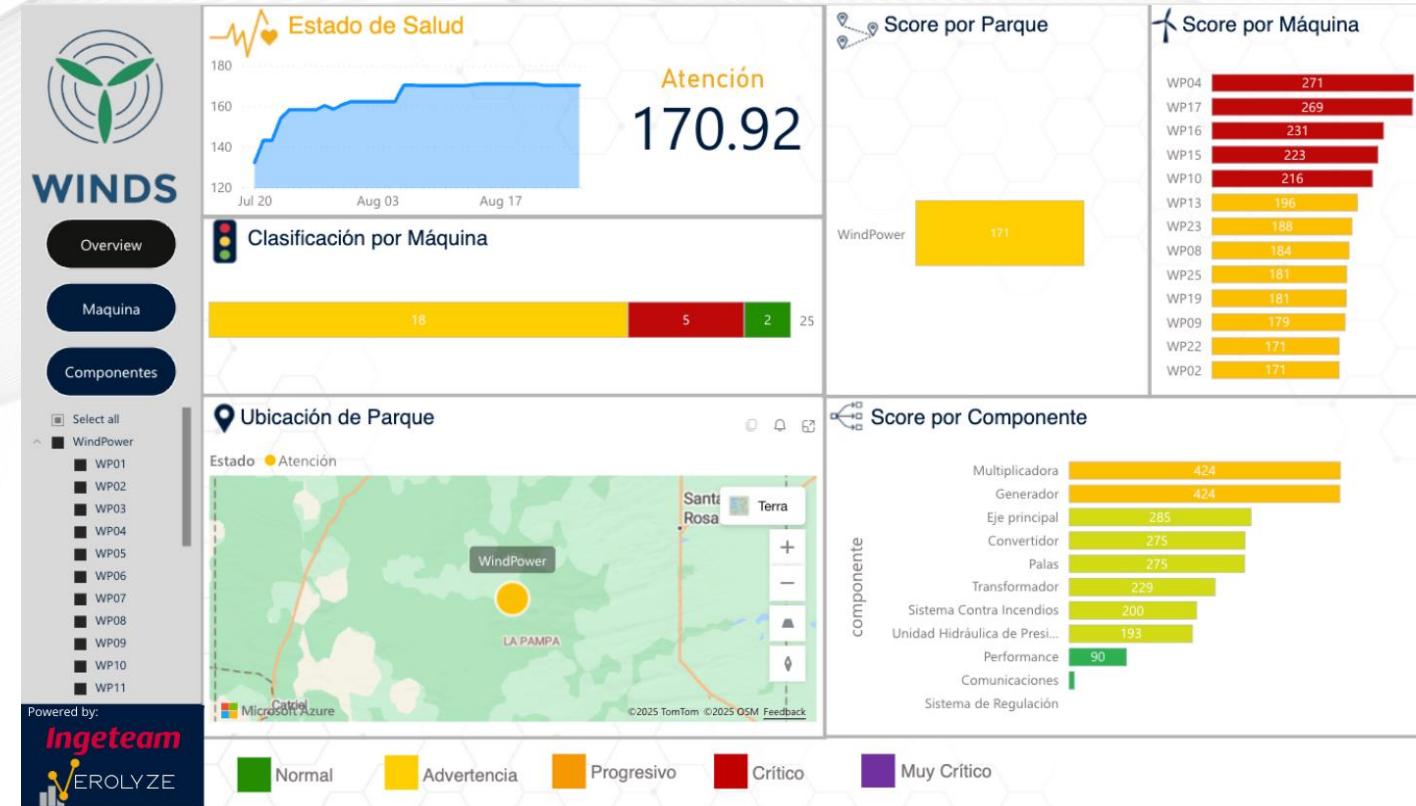
COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Casos de Uso - Copilots

Copilot O&M

Evaluación data-driven de la salud de WTGs y componentes clave

Integra información O&M y de modelos ML (aprendizaje automático) y genera recomendaciones concretas de actuación en O&M



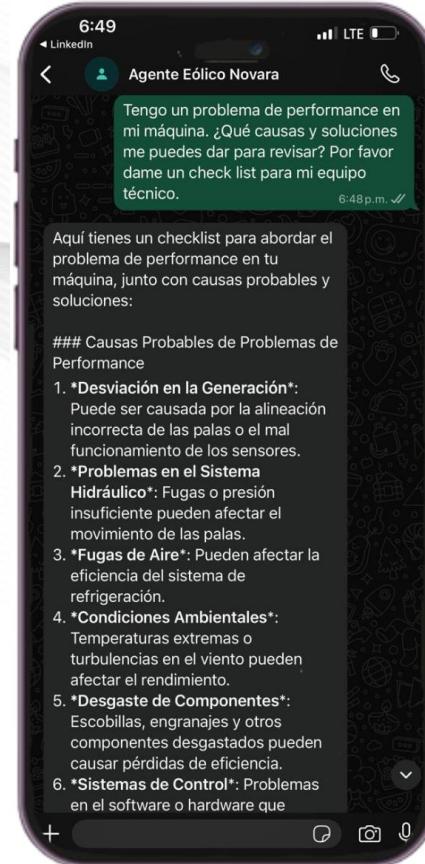
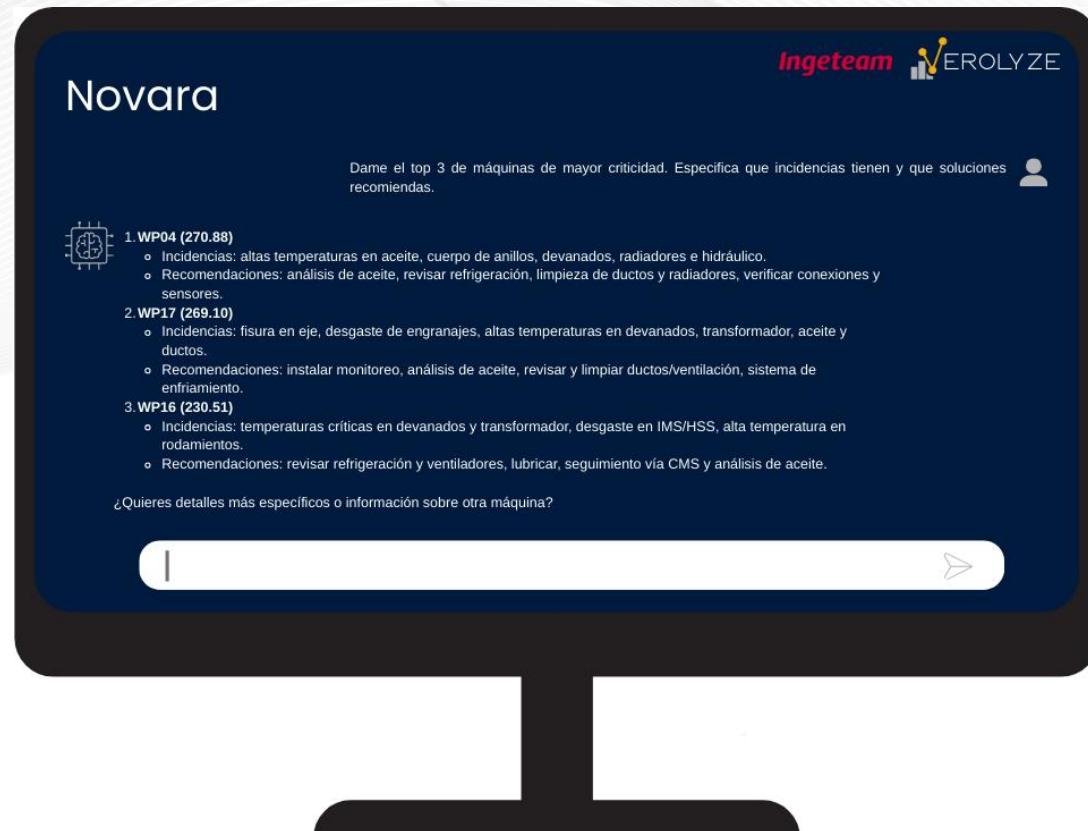
COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Casos de Uso - Copilots

Copilot O&M

Evaluación data-driven de la salud de WTGs y componentes clave

Integra información O&M y de modelos ML (aprendizaje automático) y genera recomendaciones concretas de actuación en O&M



COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Conclusiones



Factores Técnicos y Operativos Clave:

Personas
Datos
Prompt Engineering
Observabilidad y fine tuning
Guardrails
Enfoque híbrido: agentes IA + lógicas deterministas



Resultados

Mejoras en la operación:

Automatización de Rearmes de WTG
Enriquecimiento de los criterios de operación
Mejora en la difusión del conocimiento experto
Reducción de tiempo de generación de reportes
Reducción de tiempo de capacitación de nuevos operadores
Mejora significativa en el O&M de WTG en campo.

COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

Despedida

“You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics.”

Robert Solow, 1987

De los proyectos piloto de IA generativa en empresas, solo aproximadamente 5 % logran escalamiento e impacto financiero mensurable (por lo tanto, 95 % “fracasan” en ese sentido)

“The GenAI Divide: State of AI in Business 2025”, MIT





Ingeteam | ELECTRIFYING A SUSTAINABLE FUTURE

www.ingeteam.com