



**Ingeteam** ELECTRIFYING A SUSTAINABLE FUTURE

# Ingeteam

ELECTRIFYING  
A SUSTAINABLE FUTURE

## OUR VALUES



Electric power conversion



Clients' needs



Our people



Continuous Innovation

Jorge Acedo  
Global R&D Control Systems  
Director – INGETEAM

jorge.acedo@ingeteam.com



# 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

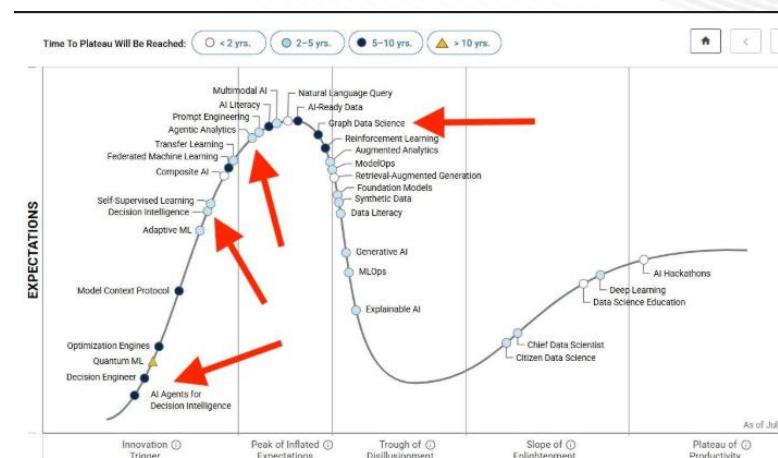
*“You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics.”*



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

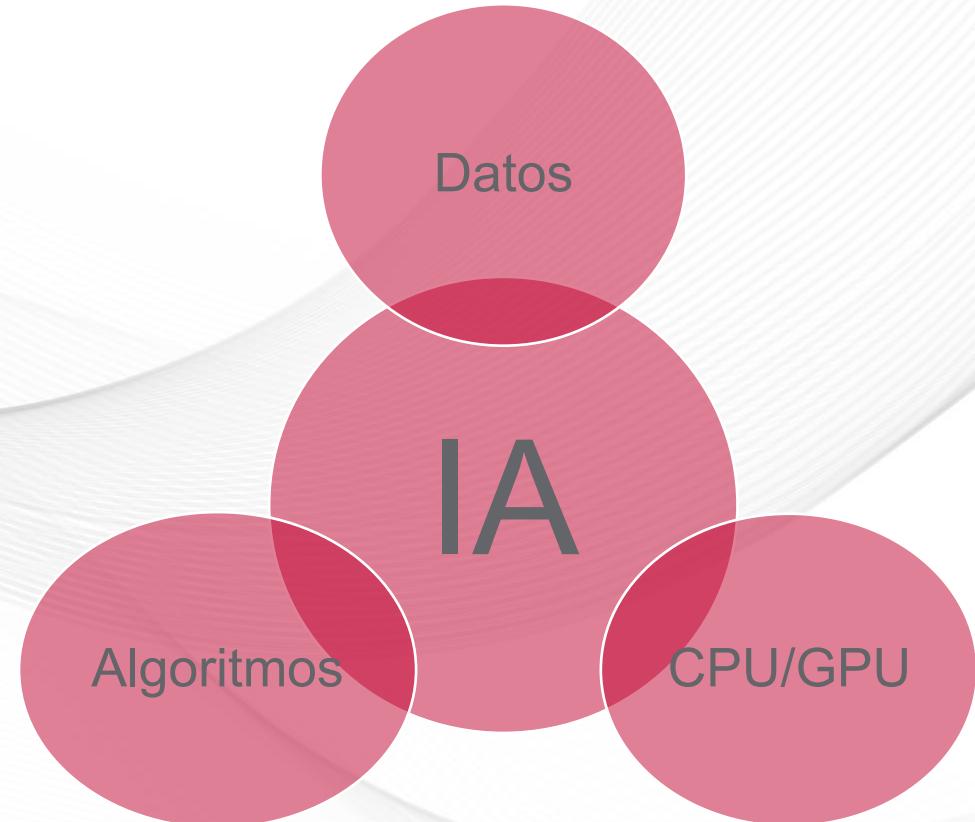
## Inteligencia Artificial Generativa y LLMs

### DATOS - Openness

El 80% del esfuerzo en Machine Learning (ML) se dedica a recopilar, limpiar y estructurar datos

Los datos son clave: codifican conocimiento vertical específico  
*Prompt engineering | context Engineering | RAG*

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



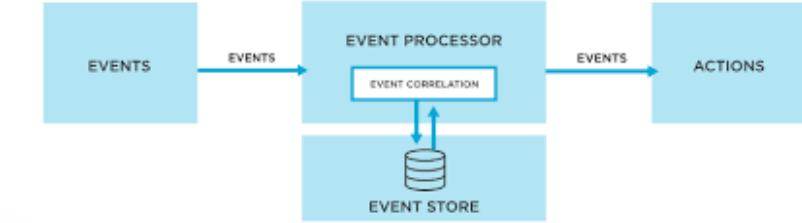
### Pros:

- 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:

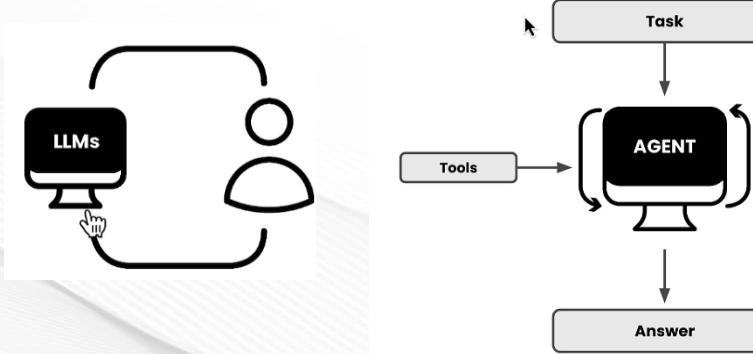
- Dependencia de reglas explícitas
- No generalización
- Complejidad de reglas
- Rigidez: dificultad de incorporar información no estructurada

# COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

## Inteligencia Artificial Generativa y LLMs

### Agentes IA

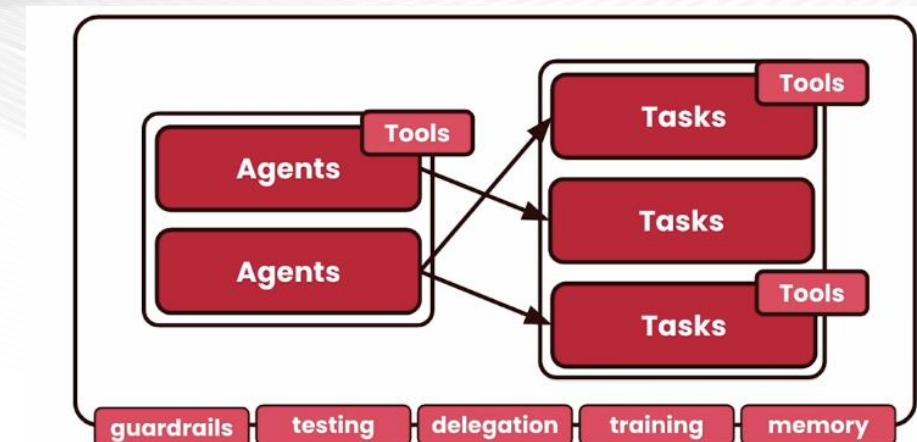
- Autonomía
- Proactividad y planificación
- Interacción entre agentes
- Memoria de corto/largo plazo
- Tools



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 Digital Twin,

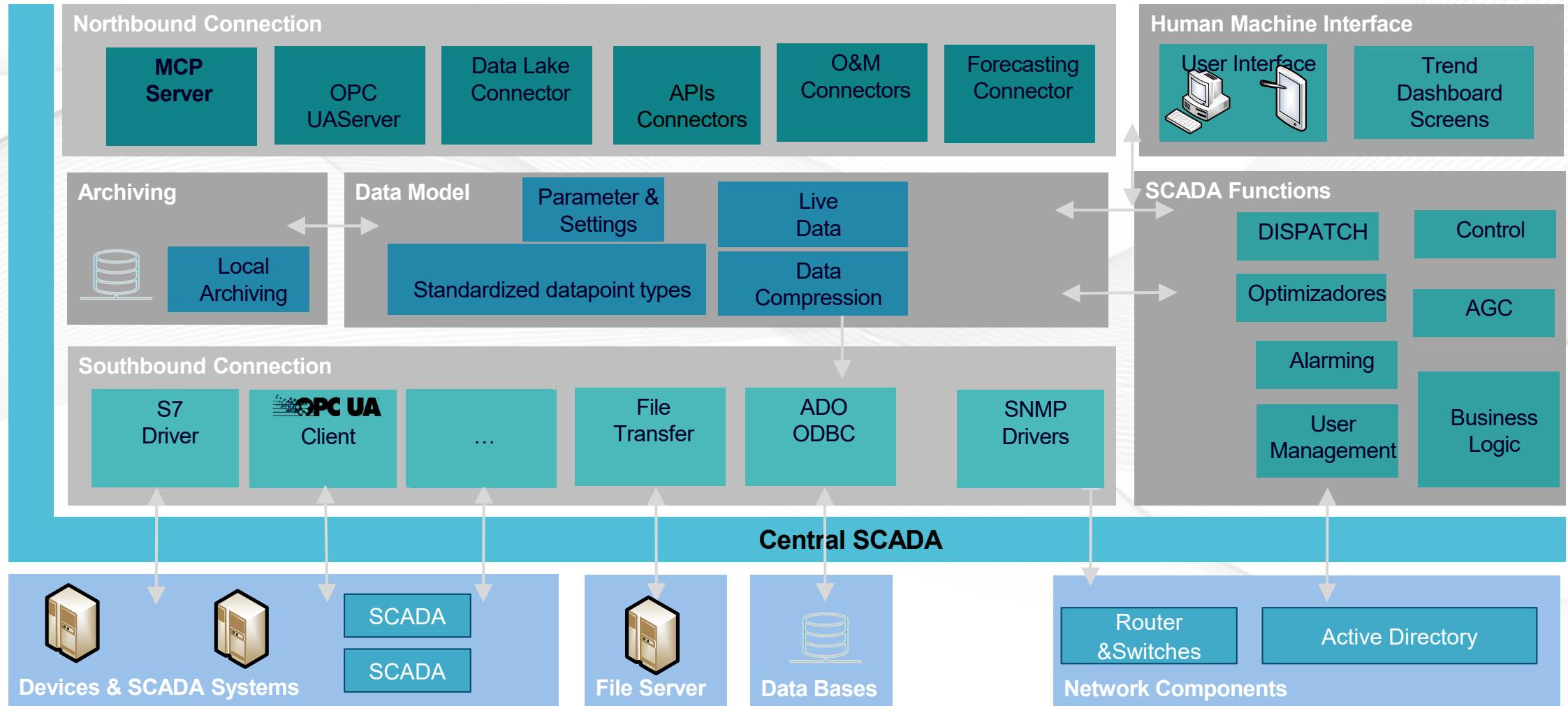
Cada agente emplea un LLM distinto o con ajustes (“personalidad”) diferente.



# 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

## 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

Agentes IA + RAG



OPERATION

# COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

## Casos de Uso - Copilots

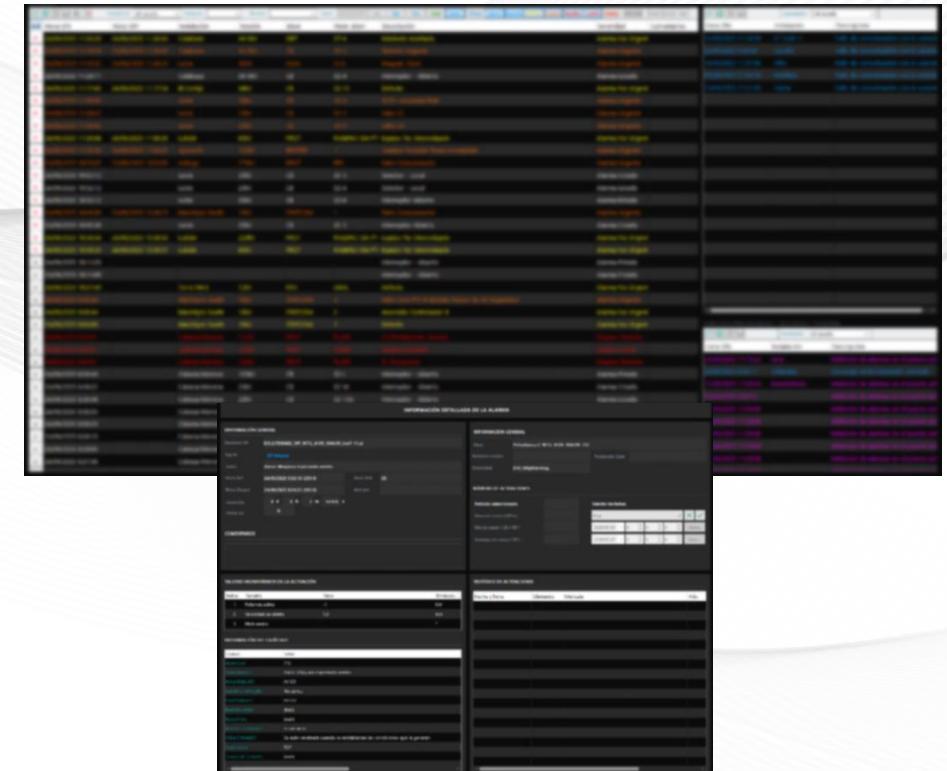
### Copilot de Operación

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 AL602 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 (1881).

##### 2) Recomendación de actuación

Se recomienda verificar en campo la causa raíz de la alarma 1881 y el estado del sistema antes de intentar cualquier reset. No realizar reseteos remotos hasta diagnóstico presente.

##### 3) Resumen ejecutivo de las alarmas responsables

Los paralelos y el cambio a estado de emergencia han sido causados principalmente por la activación recurrente de las alarmas 1881 ("Fallo test del polo", reacción Emergencia, reset 82), 967 ("Disparo serie de emergencia fallo", Emergencia, 82), y 5225 ("Fallo en la alimentación de la electrónica analógica". Criterio: Fallo la monitorización de la tensión de alimentación. Reacción Emergencia, Reset Automático tras 8h, a Pausa tras 5 min. Disponibilidad: No).

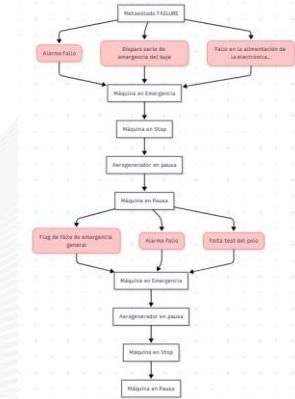
##### Clasificación clave de alarmas asociadas

- 1881 "Fallo 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 8h, a Pausa tras 5 min. Disponibilidad: No.
- 967 "Disparo serie de emergencia fallo". Criterio: La serie de emergencia del Hub permanece abierta. Reacción: Emergencia, Reset Automático tras 8h. Disponibilidad: No.
- 5225 "Fallo en la alimentación de la electrónica analógica". Criterio: Fallo la monitorización de la tensión de alimentación. Reacción: Emergencia, Reset Automático tras 8h, a Pausa tras 5 min. Disponibilidad: No.
- 911 "Pausa Emergencia-Reset local". Criterio: Cambio a reposo local por reactivación de emergencia. Reacción: Emergencia, Reset Local. Disponibilidad: No.
- 2190 "Cambio de reset a Local". Criterio: Cambio de criterio de reset de alguna alarma. Reacción: Aviso, Reset Manual. Disponibilidad: Si.

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

#### Tabla resumen de alarmas

Código/Nombre	priority	nom_activacion	le_active	funcionamiento	Criterio/Disparo	Reacción	Reset	ResetCode/Timeout	0
1881	40	4	1	Fallo test del polo	Este alarma se activa si se produce alguna de las siguientes dos condiciones: - Cuando estás en PAUSA y solicita MARCHA, no se recibe el modo OK del test del polo durante más de 120 segundos. [Job: 705]. - Cuando estás en MARCHA y el modo OK del test del polo no se recibe durante más de 120 segundos. [Job: 710].	Emergencia	82 (8h)	82	0
2190	10	1	1	Cambio reseteo Remoto->Local	Alguna alarma cambia su criterio de auto a local. [Job: 812]	Aviso	E	E	0
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. [Job: 942]	Emergencia	82 (8h) tras 5 m a Pausa	82	0
967	40	1	0	Disparo serie de emergencia fallo	La serie de emergencia del Hub permanece abierta. [Job: 750]	Emergencia	82 (8h)	82	0
911	50	1	1	Pausa Emergencia-Reset local	Se ha producido un cambio en la recepción de una alarma por reactivación apagado de la misma. [Job: 760] Pausa a emergencia monitoreable localmente.	Emergencia	A	A	0



# COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

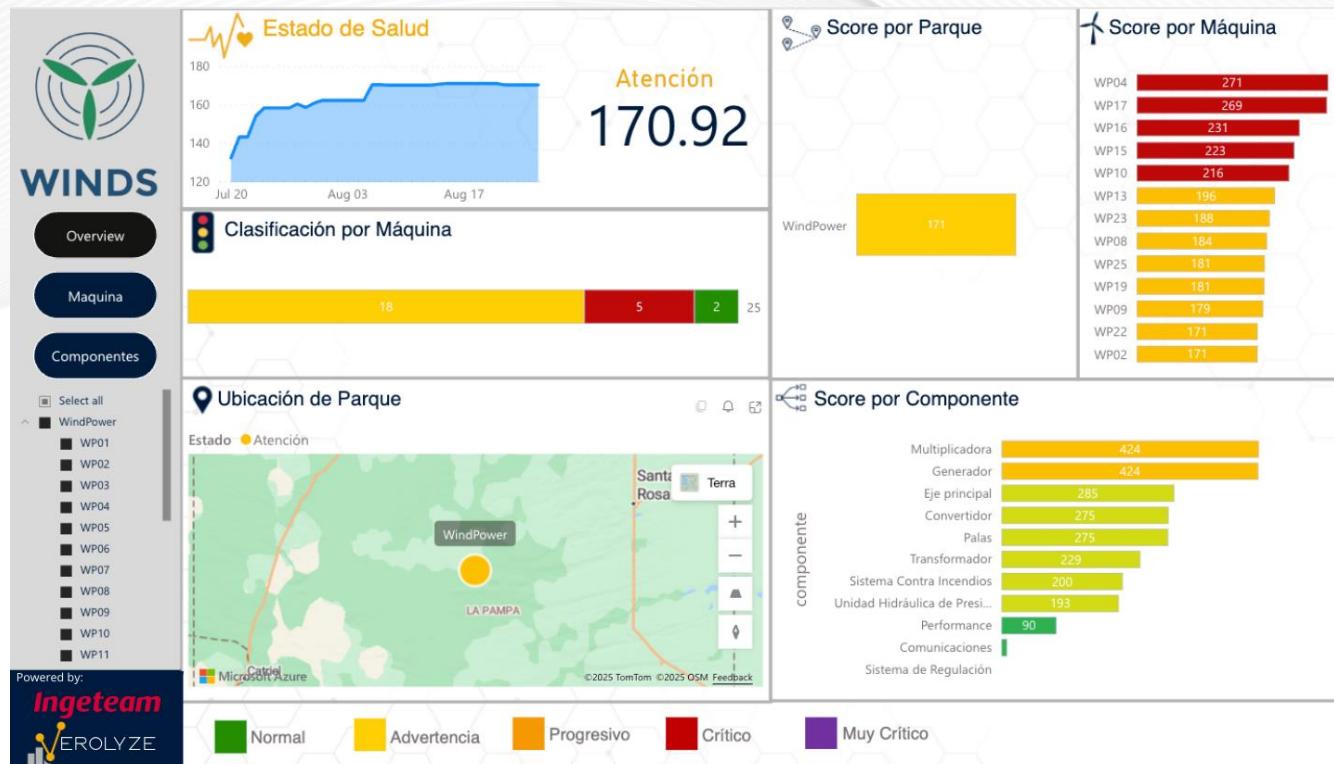
## Casos de Uso - Copilots

### Copilot O&M

Partnership con VEROLYZE (Ingeniería en Confiabilidad con IA)

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

Integra información O&M y de modelos Gemelo Digital y genera recomendaciones concretas de actuación en O&M



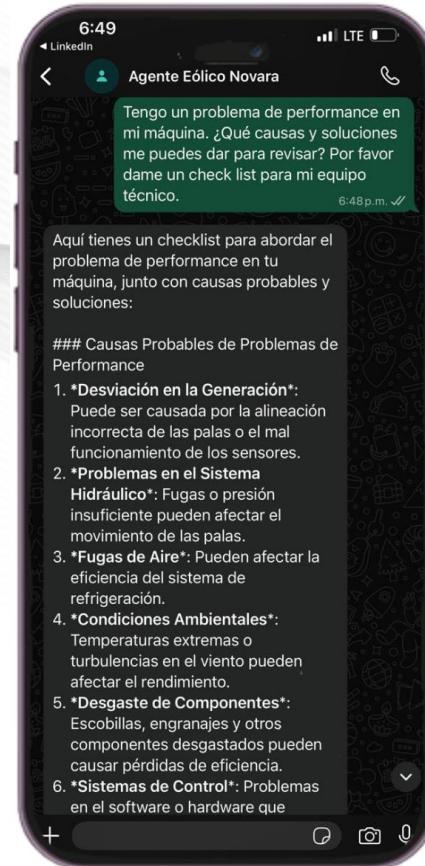
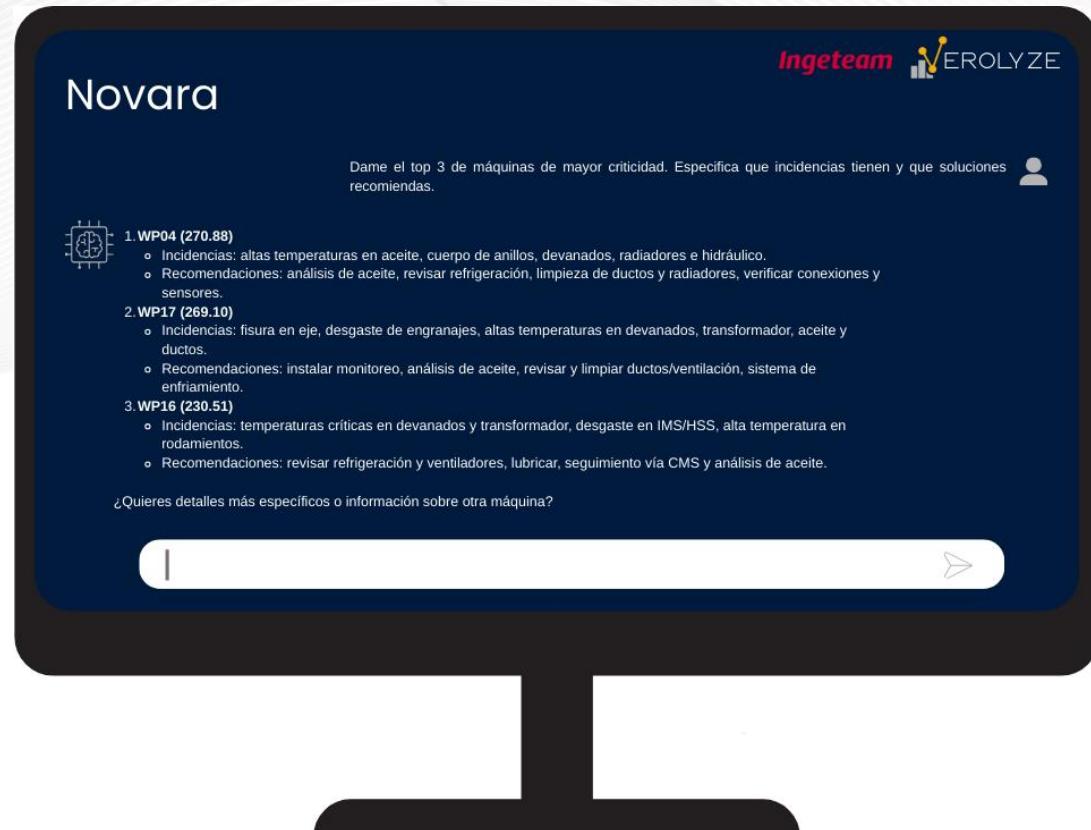
# COPILOTS IA PARA OPERACIÓN WTGs EN CENTRO DE CONTROL

## Casos de Uso - Copilots

### Copilot O&M

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

Información relevante y accesible a técnicos O&M a través de WhatsApp



# 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

Automatización de Rearmes 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 en métricas O&M (MTTR y MTBF) de WTG en campo





**Ingeteam** | ELECTRIFYING A SUSTAINABLE FUTURE

[www.ingeteam.com](http://www.ingeteam.com)