

A photograph of a wind farm with several white wind turbines on a grassy hill. The scene is set during sunset or sunrise, with a warm orange and yellow sky and distant mountains visible in the background. The turbines are arranged in a line, receding into the distance.

Aplicación de Inteligencia Artificial Generativa y SaaS Híbrido en Parques Eólicos

Jornada Operativa de Parques Eólicos 2025/10/02



Índice

Mejorando la detección y análisis de fallos operativos

01

Contexto

02

Repaso Tecnologías LLM y Arquitectura SeS

03

3 Casos de Estudio

04

Beneficios y Aprendizaje

Contexto

Crecimiento de la digitalización en parques eólicos

La digitalización avanzada de los parques eólicos exige una evolución en las herramientas de diagnóstico y gestión operativa, transformando la manera en que gestionamos y optimizamos estos activos críticos.

Retos actuales:

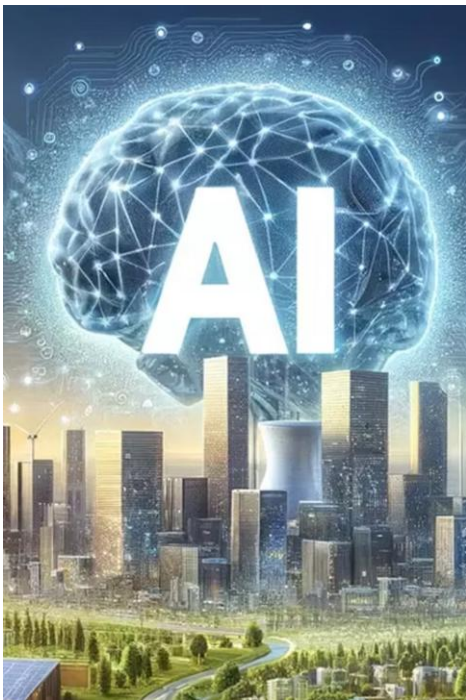
- Manejo de volúmenes masivos de datos operativos y de estado
- Reducción significativa de tiempos de análisis y diagnóstico
- Mejora sustancial de la calidad en los informes técnicos

En esta ponencia se presentan tres casos reales de mejora operativa basados en el uso de inteligencia artificial generativa (LLM), integrada con soluciones Software-enabled Services (SeS).



Oportunidad Tecnológica

IA generativa y LLM



IA Generativa

Tipo de IA diseñada para **crear nuevo contenido**: genera texto, análisis técnicos y recomendaciones. Aprende patrones de datos operativos y produce información nueva que parece creada por un experto humano.

Modelos LLM

Un LLM (Large Language Model, o modelo de lenguaje extenso) es un tipo específico de IA generativa entrenado con enormes cantidades de texto/ información técnica. Estos modelos aprenden terminología especializada, contexto operativo y pueden **redactar informes, responder consultas técnicas y mantener conversaciones especializadas**.

Los LLM funcionan como una *ingeniera experta* que puede acceder a millones de documentos técnicos, informes de fallos, manuales de operación y datos SCADA, permitiendo generar diagnósticos contextualizados y recomendaciones accionables.

Oportunidad Tecnológica

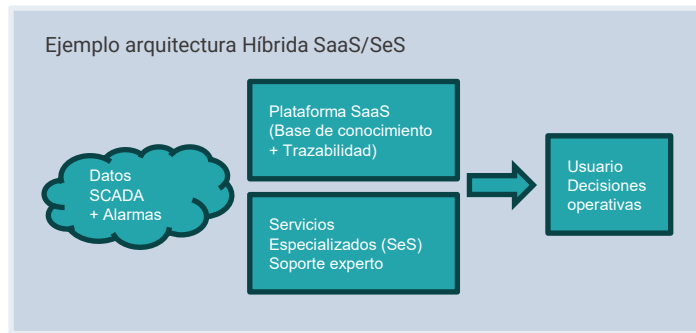
SeS: Servicios potenciados por software

El reto del software tradicional

En energía eólica, comprar software no basta; requiere tiempo, procesos internos complejos y expertos especializados para generar valor real en las operaciones.

Qué es Software enabled Services (SeS)

Una evolución del SaaS tradicional que combina **software + experiencia técnica + conclusiones prácticas aplicables**, permitiendo resultados inmediatos sin curva de aprendizaje.



Inteligencia aumentada

Software potenciado con análisis de miles de aerogeneradores y expertise en palas, SCADA y CMS

Escalabilidad adaptativa

Soluciones que crecen y se adaptan dinámicamente al portfolio del cliente

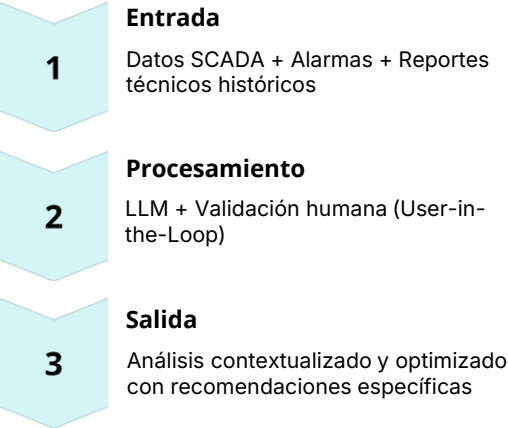
Enfoque práctico

Maximizar disponibilidad, evitar fallos costosos y optimizar rendimiento operativo

Caso de Estudio 1 Optimización de Informes

Objetivo: Enriquecer Diagnósticos con Lenguaje Natural

Flujo de Trabajo



Performance Report 2024

Vestas V164 9500	High	The turbine was subject to curtailment for a significant total duration. This typically results in high production losses.	Check that any curtailment was intentional.	New issue
Vestas V164 9500	Medium	The turbine was subject to curtailment for a significant total duration. This typically results in high production losses.	Check that any curtailment was intentional.	New issue
Vestas V164 9500	Low	The turbine was shut down for a large proportion of the observed time, indicating service activities or a major defect.	Check whether any planned service was performed.	New issue
Gamesa G114 2625	High	The turbine was subject to curtailment for a significant total duration. This typically results in high production losses.	Check that any curtailment was intentional.	Open since Jul 2024
Gamesa G114 2625	Medium	The turbine performance shifted extremely compared with devices of same type.	Check if the wind sensor is adjusted correctly. Compare the turbine performance with neighbor turbines.	New issue
Siemens SWT-6.0-154 6300	High	The turbine was subject to curtailment for a significant total duration. This typically results in high production losses.	Check that any curtailment was intentional.	New issue

Performance Report 2025

Vestas V164 9500	High	The performance of the turbine varies significantly compared to others of the same type, indicating potential calibration issues.	Verify the wind sensor's correct adjustment. Also, compare the turbine's performance with neighboring turbines for further analysis.	Powercurve shift, Powercurve deviation
Vestas V164 9500	High	The turbine shows signs of frequent short-term power loss, suggesting an intermittent fault.	Review the SCADA event logs for signs of faults. Conduct a detailed analysis to confirm and rectify the underlying issue.	Short Time Loss
Vestas V164 9500	Medium	The turbine experienced a notable event identified as 'MSI External High Impact', which might have led to curtailment and potentially resulted in production losses.	Investigate the cause of 'MSI External High Impact' to determine if it triggered the curtailment. Verify if the curtailment was deliberate or accidental. Confirm that systems involved are functioning correctly to	Curtailment, Msi External High Impact
Vestas V164 9500	Medium	The turbine's performance has significantly deviated compared to similar models.	Ensure the wind sensor is accurately adjusted. Assess and compare the turbine's performance with nearby turbines to identify discrepancies.	Powercurve shift
Vestas V164 9500	Medium	The turbine was subject to curtailment, which could potentially lead to significant production losses. The high wind turbine yaw control is not functioning properly, which might be the most probable cause.	Investigate and resolve the high wind turbine yaw control issue to ensure proper functionality. Confirm whether the observed curtailment was intentional or due to this technical fault.	Curtailment, Yaw Control Issue

Frases genéricas basadas en umbrales predefinidos

Menos detalle

Contexto técnico detallado

Recomendaciones accionables

Mayor comprensión operativa

Ejemplo Real: Turbina Vestas V162

```
{ "siteId": "[REDACTED]",  
  "deviceName": "[REDACTED]",  
  "deviceType": "Vestas V162 6200",  
  "month": "2024-12",  
  "diagnosis":  
    "The turbine experienced frequent short-time power loss,  
    indicating an intermittent fault."  
  "mitigatingAction":  
    "Check SCADA event logs for evidence of a fault, perform  
    detailed analysis."  
  "priority": "High",  
  "comment": "",  
  "alarmMessage": "CCU reactor hot",  
  "technicalComment": "", "additionalComment": "",  
  "fallbackRequired": "True", "multipleAlarms": "False", }
```



Síntomas

Pérdida de potencia intermitente, sobrecalentamiento del reactor CCU.

Diagnóstico Enrichido

La turbina experimenta pérdidas de potencia frecuentes y de corta duración, posiblemente causadas por el sobrecalentamiento del reactor CCU. Este sobrecalentamiento podría provocar fallos intermitentes que afectan al rendimiento.

Recomendación Específica

Investigar el sistema de refrigeración del reactor CCU para abordar el problema de sobrecalentamiento. Revisar los registros de eventos SCADA y realizar análisis detallado para confirmar la ausencia de otros problemas subyacentes.



Caso de Estudio 2

Base de Conocimiento Operativo

Objetivo: Crear un Sistema Inteligente de Gestión del Conocimiento.

Almacenar y compartir información compleja de proyectos bajo demanda.

Requisitos clave	Integración de Datos Multifuente	Consolidación de informes técnicos, alarmas históricas y datos operativos en una plataforma unificada que elimina los silos de información.
	Acceso Inteligente Bajo Demanda	Consulta instantánea de información técnica compleja mediante lenguaje natural
	Trazabilidad Completa y Verificable	Respuestas respaldadas por fuentes verificables y documentación técnica
	Interfaz Intuitiva y Transparente	Diseñado para integrarse de forma transparente en los flujos de trabajo existentes, sin curva de aprendizaje, formación adicional ni uso de aplicaciones extra.
Casos de uso principales:	Análisis especializado de palas	
	Evaluación de rendimiento	
	Gestión de incidencias críticas y soporte técnico avanzado	

Ejemplo Real: Slack #Performance_knowledge_fastlane

Parte 1: Captura y Almacenamiento


- El usuario comparte información en Slack con colegas.
- Se añade un **comando** / para guardar la información.
- * Sin uso de LLM en esta fase.



Parte 2: Consulta y Trazabilidad

- El usuario formula una **pregunta**.
- La información debe ser **rastreable hasta la fuente**.



 **Benjamin Faiveley** 08:55 22 Agosto 2024

¡ [REDACTED] s, el sistema automático de engrase de palas utiliza tubos cónicos que descienden hacia los engrasadores. El cambio de diámetro ha provocado, al menos en un emplazamiento, la acumulación de residuos y obstrucciones que comprometieron todo el sistema de engrase y ocasionaron algunos problemas menores en los rodamientos de las palas (sin fallos hasta la fecha).


Esto podría ser un problema común en varias plataformas de [REDACTED] y resultar relevante para los problemas de rodamientos de palas en general.



Julien Tissot 15:08 17 Septiembre 2025

Tengo un cliente que me ha comentado acerca de una incidencia extraña en su turbina [REDACTED] relacionada con un problema de engrase en el rodamiento de la pala... ¿Tenemos registrado algo similar en nuestra base de datos?



 **Performance Assistant** APP 15:08 17 Septiembre 2025

Sí, tenemos información sobre un problema de engrase en turbinas [REDACTED]. Concretamente, en los modelos [REDACTED], el sistema automático de engrase de palas utiliza tubos cónicos, lo que facilita la acumulación de residuos y obstrucciones. Esta situación compromete todo el sistema de engrase y puede derivar en problemas menores en los rodamientos de las palas, aunque hasta la fecha no se han reportado fallos graves. De hecho, este problema podría estar presente en otras plataformas de [REDACTED] y ser relevante para incidencias en rodamientos de palas en general. (Benjamin Faiveley, agosto de 2024)

Impacto Organizacional: Acceder al conocimiento es lento y complicado. A menudo es difícil recordar o encontrar detalles clave. Este sistema permite obtener información en menos de un minuto, agilizando la transferencia y la aplicación del conocimiento, y haciendo a las personas mucho más eficientes.

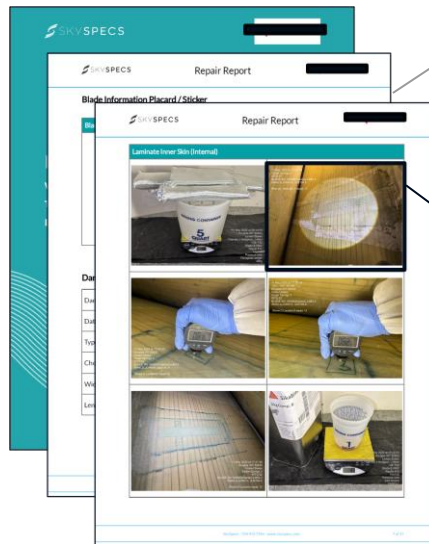
Caso de estudio 3 Evaluación de Informes de Reparación de Palas

Planteamiento del problema:

- SkySpecs audita los informes de reparación de palas para los clientes, evaluando tanto la calidad como el contenido.
- Revisa 600-1.000 informes de reparación al año.
- Tan solo la fase QC2 requiere 15-30 min por informe (150-500 horas/año).
- Los informes varían mucho en formato, proveedor y contenido(tipo de reparación, grietas, LPS, LEP, etc.).

Objetivo

- Automatizar la extracción y análisis de datos con modelos LLM, manteniendo la revisión de calidad manual.



Informes con formatos diferentes y contenido variado

Standard Text Extraction

```
===== PAGE 1 =====
Repair Report Wind Farm: Cedar Springs ITurbine #: WF21-0052Blade Position / Serial Number B / 000062
===== PAGE 2 =====
Repair ReportGeneral InformationSite Owner / Operator : Cedar Springs Insite Address : 460 Soteren Mile RoadRepair Technician 1 : Inaki Camara GaridoRepair Technician 2 : John HodsonRepair Technician 3 : Justin AllenReport Author : Rudy PonceRepair Start Date : 2025-05-09Repair End Date : 2025-05-11Turbine / Blade InformationTurbine Make : GETurbine Model : 2 8-127Blade Make : LM Wind PowerBlade Model : LM 62 2 P2SkySpecs - 734 413 7346 - www.skyspecs.com 1 of 21
===== PAGE 3 =====
Repair ReportBlade Information Placard / StickerBlade Position / Serial NumberDamage DetailsDamage ID C12BD893Date 2025-05-09Type CrackChord 65 %Width 0.025 mLength 0.54 mSkySpecs - 734 413 7346 - www.skyspecs.com 2 of 21
===== PAGE 4 =====
Repair ReportSubtype Transverse Distance 24 m Material Structure Severity 4 Component Blade Blade Side Pressure Side Blade Chamber Trailing Edge Damage Location InternalSkySpecs - 734 413 7346 - www.skyspecs.com 3 of 21
===== PAGE 5 =====
..... etc
```

AI Image Description

```
""IMAGE""The image shows the internal surface of a wind turbine blade, illuminated by a flashlight. The area in focus displays a laminate repair in progress. There is a visible grid pattern marked on the blade surface, likely for alignment and measurement purposes. Peel ply is applied over the repair area, which is consistent with standard composite laminate repair procedures. The surrounding blade surface shows vertical lines typical of core material or previous manufacturing marks. The repair zone is clearly demarcated and appears to be wetted out, indicating resin application.Text extracted from the image: - 11 May 2025 at 10:57:44: Cedar Springs 2- WTG 52: BLADE SN: 000062 (blades) LM62 2- INAKI G. JOHN H. JUSTIN A- Peel ply laminate it repair 12This image answers the following quality control questions: 1a. Site and Turbine info: YES (Site: Cedar Springs 2, Turbine model and number: WTG 52) 1b. Blade Make and Model: YES (Blade SN: 000062 Model: LM62 2) 1c. Technician's Name(s): YES (INAKI G. JOHN H. JUSTIN A) 2b. Damage Location: PARTIAL (Blade serial and repair area visible, but no explicit Z/R or component notation) 4b. Photo Progression: YES (Shows repair step in progress)""END IMAGE""
```

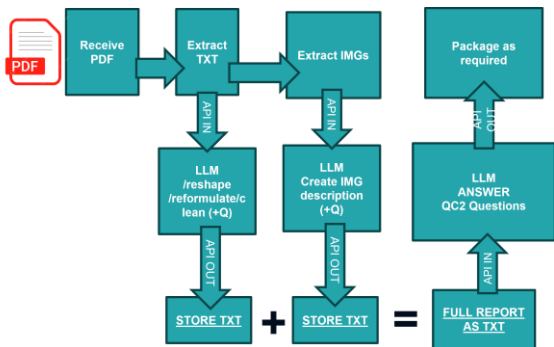
YES (Shows repair step in progress) END IMAGE"

YES (Shows repair step in progress) END IMAGE"

YES (Shows repair step in progress) END IMAGE"

YES (Shows repair step in progress) END IMAGE"

Caso de estudio 3 Evaluación de Informes de Reparación de Palas



Full Text Version			
ASK			
AI Answers			
Quality Questions		AI Answers	AI Justification
1a. Site and Turbine info: Are site info, turbine model and turbine number specified?		YES	All present: Cedar Springs II, GE 2.8-127, WF2...
1b. Blade Make and Model: Are blade manufacturer / model specified?		YES	LM Wind Power, LM 62.2 P2
1c. Technician's Name(s): Are the repair vendor's technician name/s specified?		YES	Multiple photos and text: Ihaki Camara Garrido...
1d. Author Name(s): Are the name(s) of the report author(s) specified?		YES	Report Author: Rudy Ponce
1e. Start and End Date: Are the start and end dates of the repair listed?		YES	Repair Start Date: 2025-05-09, Repair End Date...
2a. Damage Type: Is the damage type that is being repaired listed?		YES	Type: Crack
2b. Damage Location: Is the location (including distance from rotor / Z or R) + component (PS, SS, LE, TE etc.) listed?		YES	Distance from rotor, Z1, Z2, From TE, PS, Trail...
2c. Damage Dimensions: Are the damage dimensions listed?		YES	Width: 0.025 m, Length: 0.54 m
2d. Photos of Damage(s): Are photos of the damages included in the report?		YES	Multiple images show damage sites with measure...
2e. Photos of Topcoat: Are there photos of topcoat/gel coat removed that show extent of damage?		NO	
3a. Repair Materials: Are repair materials listed with batch no., manufacturer, expiry dates specified or photographed?		YES	SikaBiresin, batch, expiry, manufacturer; MGS...
3b. Temperature and Humidity: Are there any pictures, tables or descriptions of ambient temperatures and humidity presented?		YES	EXTECH & FLUKE devices; values visible in photos
3c. Heat Cure: Are there any pictures or tables of heat cure cycle?		N/A	Ambient cure and not a heat cure process
4a. Work Steps: Are there descriptions of repair work steps?		YES	Repair Steps listed (scarf, laminate, core, etc.)
4b. Photo Progression: Are there photos that progression of repair steps?		YES	Multiple images show sequential repair steps
4c. Scarf Ratios: Are there any images or table specifying scarf ratios/overlap lengths per glass layer and type replaced?		PARTIAL	Table with overlap spans/chords and glass type...
4d. Vacuum: Are there any images or tables indicating if vacuum consolidation was used?		YES	Vacuum bagging and gauge shown in images
4e. LPS Test: If repair is for lightning damage or LPS part replacement was electrical resistance check (LPS Megger test) photographed or recorded in report?		N/A	No lightning damage or LPS repair referenced
4f. LPS Hardware: If an LPS repair is present, were LPS replacement hardware repairs documented?		N/A	No LPS repair present
5a. Erosion Repair: Was erosion repair included in the report?		NO	
5b. Erosion Work Steps: If erosion/LEP repair was detailed in the report, was a detailed description including surface prep steps prior to applying the LEP included?		N/A	
5c. Erosion Photo Progression: Were photos of each installation step showing installation progress included?		N/A	
5d. LEP Info: Was the length and type of LEP that was installed included?		N/A	
created_on		06/06/2025 07:44	06/06/2025 07:44 06/06/2025 07:44

Beneficios Clave

Precisión en Diagnósticos

Los algoritmos de inteligencia artificial mejoran significativamente la precisión en la identificación de problemas en aerogeneradores, reduciendo falsos positivos y optimizando las decisiones de O&M.

Reducción Tiempos de Respuesta

Los sistemas inteligentes aceleran el procesamiento y análisis de datos operacionales, permitiendo respuestas más rápidas.

Comprensión en Informes

La IA facilita la interpretación de datos complejos, generando informes técnicos más claros y comprensibles para equipos multidisciplinares en el sector eólico.

Resultados en Operación Real, eficiencia Operacional contrastada

- Reducción significativa en tiempo de análisis de datos
- Mejoras sustanciales en calidad de informes técnicos
- Validación exitosa en flota multitecnología

Aprendizajes clave

Importancia del User-in-the-Loop


La intervención humana es fundamental para validar y contextualizar los resultados generados por sistemas de IA, asegurando la calidad y relevancia de las decisiones operacionales.

Necesidad de Datos Estructurados y Trazables

El éxito de la IA depende críticamente de la calidad, estructura y trazabilidad de los datos de entrada, requiriendo sistemas robustos de gestión de información.

IA Generativa como Copiloto, No Sustituto

Los LLMs representan una herramienta potente para acelerar, apoyar y optimizar muchas tareas relacionadas con comunicación, análisis y generación de conocimiento.

 **Adopción Inteligente:** La implementación exige cuidado: asegurarse de la calidad de los datos, validar las respuestas, y considerar los costes y riesgos. Integrarlos inteligentemente puede multiplicar eficiencia, pero no sustituir la necesidad de expertos humanos.