CMC CHILE 2026

Sesión SPARK

1

1

SPARK SESIÓN 03

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN



FMECA-VR 0.1: formación técnica en confiabilidad mediante simulación inmersiva en entornos virtuales.

Caso de estudio: Parque Eólico Valle de los Vientos, Chile

Ponente: Carlos Parra

2

2

Mensaje central para el CMC

El desafío	La propuesta	El impacto
Activos críticos más complejos	Integrar QRCM + FMECA + VR	Menos errores humanos
Brecha entre conocimiento experto y ejecución en terreno	Transformar metodología de confiabilidad en experiencia inmersiva	Mejor comprensión de modos de falla
Entrenamiento tradicional con alto costo, riesgo y baja repetibilidad	Entrenar decisiones de mantenimiento en un entorno seguro	Mayor velocidad de transferencia de conocimiento
		Base para gemelo digital y analítica RAM

Video:
https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7200352283866349568/

March 2026

1. Problema industrial: formación técnica para activos críticos

En mantenimiento, la mayoría de los errores no se originan solo por falta de información, sino por falta de comprensión del contexto operacional.

Los técnicos deben interpretar fallas, criticidad, riesgos y estrategias de mantenimiento bajo presión operacional.

La formación tradicional no siempre permite simular fallas complejas, consecuencias y toma de decisiones sin exponer personas o activos.



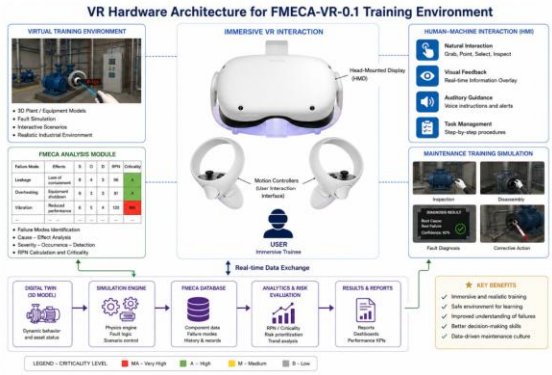
2. Objetivo y contribución del trabajo

Desarrollar un prototipo FMECA–VR 0.1 para entrenamiento técnico inmersivo en mantenimiento de aerogeneradores.

Contribución

Conecta el Modelo de Gestión del Mantenimiento con herramientas de confiabilidad y tecnologías de Metaverso.

Traslada QRCM y FMECA desde tablas tradicionales hacia una experiencia interactiva de aprendizaje.



5

5

3. Marco tecnológico: Maintenance 4.0

IoT / SCADA datos de condición

Analítica / IA diagnóstico y predicción

VR / AR entrenamiento inmersivo

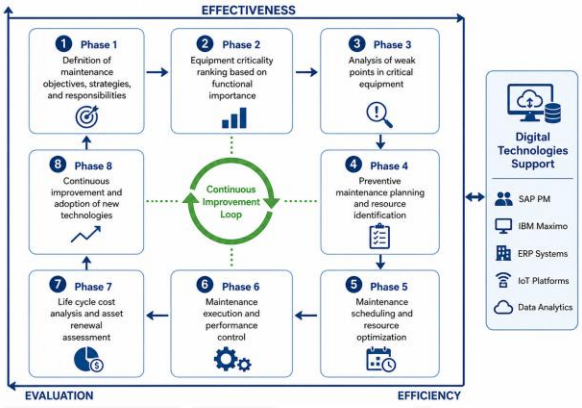
Digital Twin modelo operacional vivo



6

6

4. Base metodológica: Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)



Fuente: modelo de 8 fases de INGEMAN (figura original del artículo)

El MGM ordena la gestión desde la estrategia hasta la mejora continua.

FMECA–VR se posiciona especialmente en las fases 2, 4, 5 y 8.

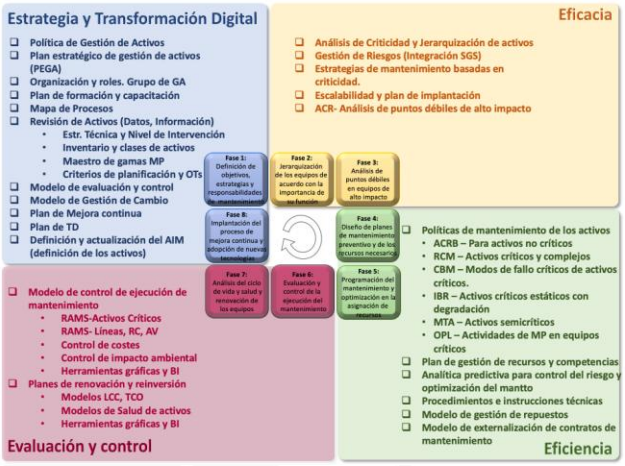
La propuesta no reemplaza el método: lo convierte en experiencia de aprendizaje técnico.

Eficacia → jerarquizar y analizar activos críticos

Eficiencia → diseñar y optimizar mantenimiento

Mejora → incorporar nuevas tecnologías

5. Conexión práctica: gestión de mantenimiento + transformación digital

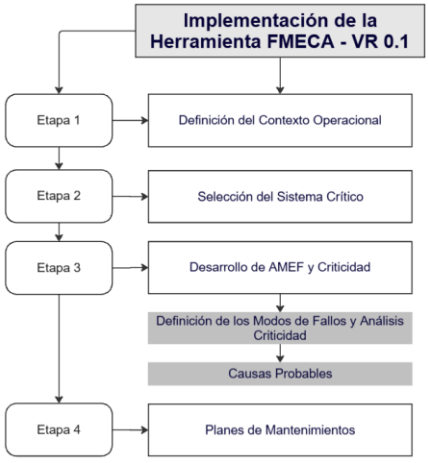


La digitalización no debe entrar de forma aislada: debe responder a brechas reales de gestión.

El artículo conecta estrategia, criticidad, planes de mantenimiento, indicadores y tecnologías 4.0.

FMECA–VR se propone como puente entre métodos clásicos y entrenamiento digital.

6. Procedimiento general FMECA–VR 0.1



1. Contexto operacional
2. Selección del sistema crítico
3. AMEF/FMECA y criticidad
4. Planes de mantenimiento
5. Entrenamiento VR

9

9

7. Caso de estudio: Parque Eólico Valle de los Vientos - Chile

45	90 MW	V100	Calama
aerogeneradores	capacidad instalada	VESTAS · 2 MW	ambiente desértico

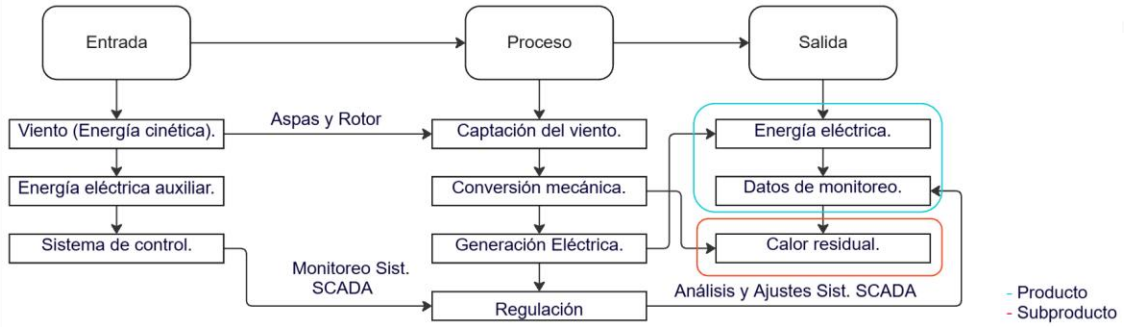
El caso permite demostrar la aplicación de FMECA–VR en activos de alto impacto: operación remota, ambiente exigente, altos costos de indisponibilidad y necesidad de formación especializada.



10

10

8. Contexto operacional: Diagrama Entrada–Proceso–Salida

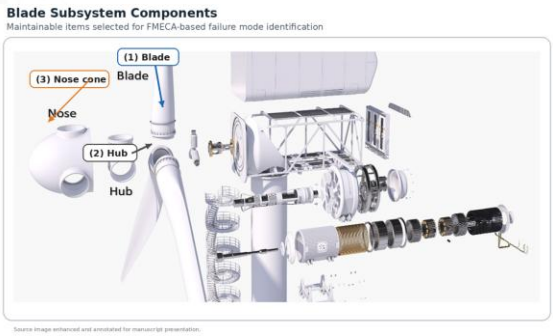


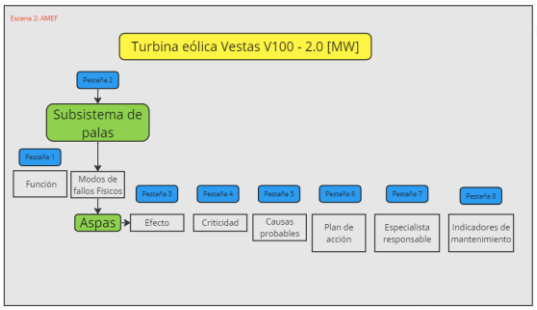
Entrada	Proceso	Salida
viento, energía auxiliar, SCADA	conversión cinética → mecánica → eléctrica	energía, datos operacionales, calor residual

11

11

9. Subsistemas críticos del aerogenerador





La estructura funcional permite ubicar los modos de falla en el nivel correcto de análisis.

El nivel de detalle debe permitir seleccionar tareas de mantenimiento ejecutables.

Subsistemas clave: palas, eje principal, multiplicadora, generador DFIG, convertidor, transformador, cuadro eléctrico y sistema yaw.

12

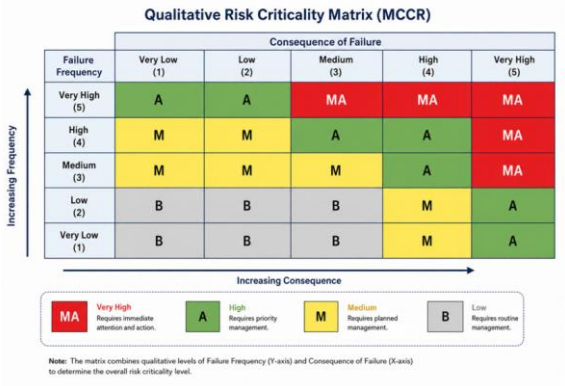
12

10. QRCM: Matriz Cualitativa de Criticidad basada en Riesgo

Riesgo = Frecuencia de fallos × Consecuencia

Consecuencia = Seguridad/Ambiente + Producción + Costos directos

Permite priorizar subsistemas y modos de falla para asignar recursos de mantenimiento.



B: baja · M: media · A: alta · MA: muy alta

13

11. FMECA: de la falla física a la estrategia de mantenimiento

1. Función	→	2. Falla funcional	→	3. Modo de falla
¿Qué debe hacer el subsistema?		¿Cómo deja de cumplir su función?		Evento físico mantenible

4. Efecto	→	5. Criticidad	→	6. Estrategia
Consecuencia operacional		Riesgo del modo de falla		Tarea preventiva/correctiva

La innovación del trabajo consiste en trasladar esta lógica a una interfaz inmersiva donde el usuario explora componentes, criticidad y decisiones de mantenimiento.

14

12. Estrategias de mantenimiento integradas en la herramienta

Basado en condición

vibración, temperatura, aceite, alarmas SCADA

Reacondicionamiento

overhaul programado en función de vida útil

Reemplazo programado

sustitución antes del fallo funcional

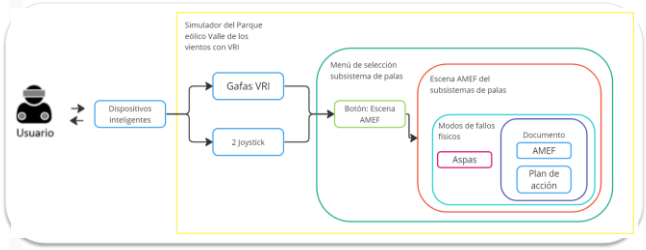
Búsqueda de fallos ocultos

pruebas periódicas de funciones de protección

Rediseño / correctivo

cuando no existe tarea preventiva efectiva

13. Arquitectura digital: de la planilla técnica al entorno VR





Excel FMECA → **JSON Datos estructurados** → **Unity Modelo 3D** → **VR Interacción**

Este flujo permite convertir información de confiabilidad en objetos interactivos: componente, modo de falla, criticidad, causa probable y tarea de mantenimiento.

14. Prototipo FMECA–VR 0.1: navegación e interacción



Imágenes originales del prototipo + visualización conceptual VR

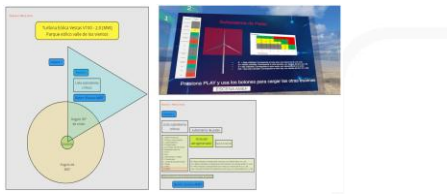
17

17

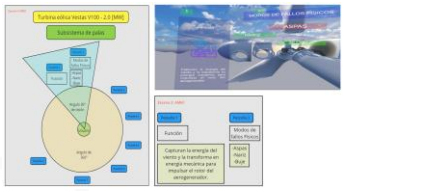
15. Secuencia de aprendizaje propuesta



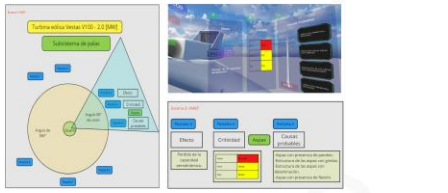
1. Reconocer el contexto operacional



2. Seleccionar subsistema crítico



3. Analizar modos de falla y criticidad



4. Definir estrategia de mantenimiento

18

18

16. Impacto esperado en capacitación y confiabilidad

Aprendizaje	mayor retención visual y práctica
Seguridad	simulación sin exposición al riesgo
Confiabilidad	mejor comprensión de modos de falla
Estandarización	misma lógica técnica para todos los usuarios
Escalabilidad	adaptable a minería, energía, manufactura y petróleo

17. Relevancia para LATAM y el Congreso CMC

LATAM concentra industrias intensivas en activos: minería, energía, petróleo, celulosa, transporte y manufactura.

La brecha de competencias técnicas es un factor crítico para seguridad, disponibilidad y costos.

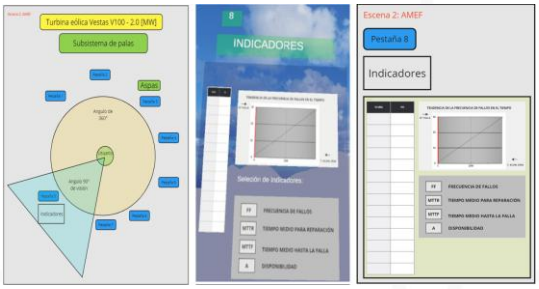
FMECA–VR 0.1 propone una vía concreta para transferir conocimiento experto y formar técnicos bajo estándares de confiabilidad.



18. Hoja de ruta: de FMECA–VR 0.1 al Gemelo Digital

v0.1	→	v0.2	→	v0.3	→	v1.0	→	v2.0
entrenamiento inmersivo		datos SCADA/IoT		indicadores RAM online		gemelo digital predictivo		decisiones asistidas por IA

La versión presentada es un prototipo formativo. El valor futuro está en conectar el entrenamiento con datos reales y desarrollar simulaciones RAM - online y toma de decisiones proactivas.



21

21

19. Consideraciones finales

FMECA–VR 0.1 integra métodos clásicos de confiabilidad con tecnologías inmersivas de la Industria 4.0.

La herramienta convierte criticidad, modos de falla y estrategias de mantenimiento en una experiencia visual e interactiva. El caso VESTAS V100 demuestra la aplicabilidad en activos renovables críticos.

Principales aportes:

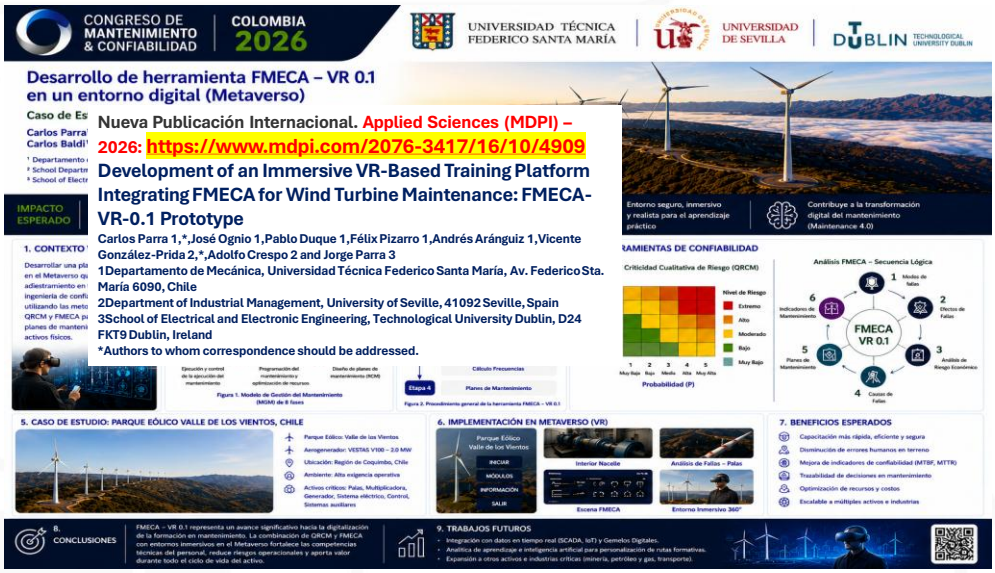
- Integración de FMECA + VR + Metaverso Industrial
- Entrenamiento inmersivo en confiabilidad
- Aplicación en aerogeneradores VESTAS V100
- Enfoque Maintenance 4.0 y Asset Management
- Plataforma escalable hacia Digital Twins



Mensaje final: digitalizar el entrenamiento técnico también es gestionar confiabilidad

22

22


CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD
COLOMBIA 2026
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA
DUBLIN TECHNOLOGICAL UNIVERSITY DUBLIN
Desarrollo de herramienta FMECA – VR 0.1 en un entorno digital (Metaverso)
Nueva Publicación Internacional. Applied Sciences (MDPI) – 2026: https://www.mdpi.com/2076-3417/16/10/4909
Development of an Immersive VR-Based Training Platform Integrating FMECA for Wind Turbine Maintenance: FMECA-VR-0.1 Prototype
Carlos Parra 1,*,José Ognio 1,Pablo Duque 1,Félix Pizarro 1,Andrés Aránguiz 1,Vicente González-Prida 2,*,Adolfo Crespo 2 and Jorge Parra 3
1Departamento de Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. Federico Sta. María 6090, Chile
2Department of Industrial Management, University of Seville, 41092 Seville, Spain
3School of Electrical and Electronic Engineering, Technological University Dublin, D24 FKT9 Dublin, Ireland
*Authors to whom correspondence should be addressed.
IMPACTO ESPERADO
Entorno seguro, inmersivo y realista para el aprendizaje práctico
Contribuye a la transformación digital del mantenimiento (Maintenance 4.0)
1. CONTEXTO
RAMIENTAS DE CONFIABILIDAD
Criticidad Cualitativa de Riesgo (QRCM)
Probabilidad (P)
Análisis FMECA – Secuencia Lógica
FMECA VR 0.1
5. CASO DE ESTUDIO: PARQUE EÓLICO VALLE DE LOS VIENTOS, CHILE
6. IMPLEMENTACIÓN EN METAVERSO (VR)
7. BENEFICIOS ESPERADOS
8. CONCLUSIONES
9. TRABAJOS FUTUROS

23


SESIÓN 03
ESCANEA EL CÓDIGO QR
RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA
CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN
¡GRACIAS!

25