



28° CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS



EXPO
MANTENER
2026



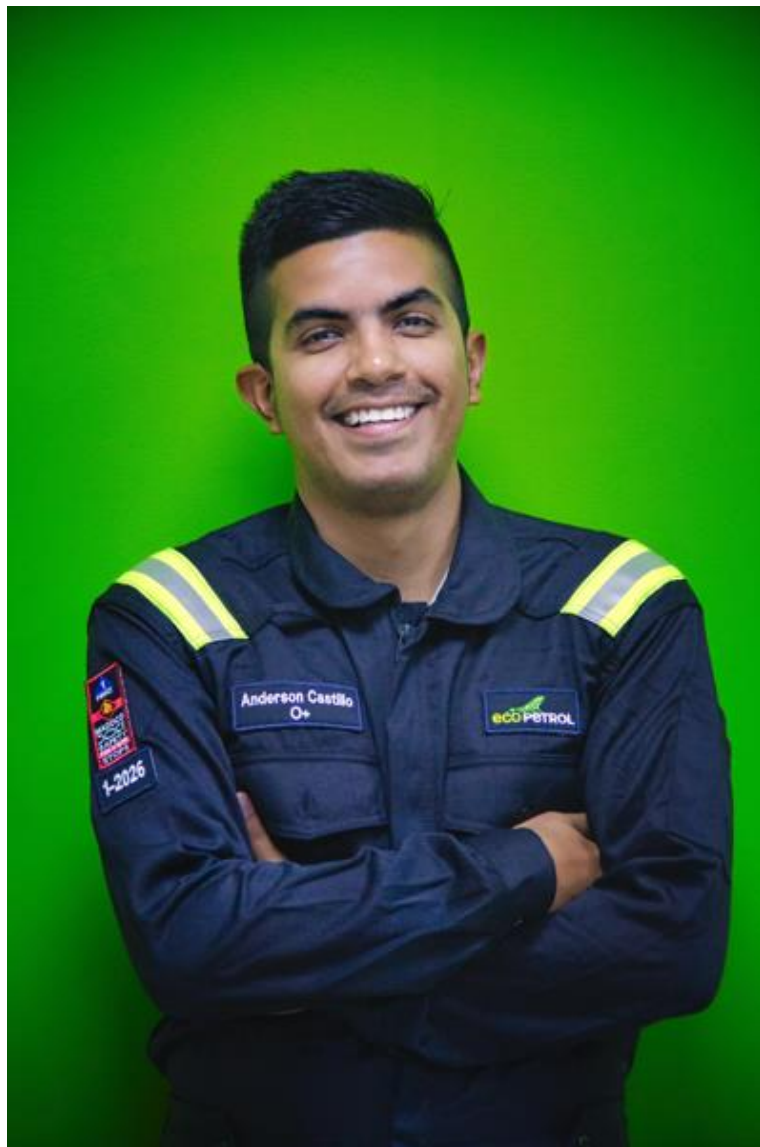
TOMA DE DECISIONES BASADA EN RIESGO EN ESCENARIOS COMPLEJOS: SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A GAS EN REFINERÍA DE CARTAGENA

ANDERSON DAVID CASTILLO RAMÍREZ



23 de Abril de 2026

22 | 23 | 24 | ABRIL



Anderson David Castillo Ramírez Ingeniero de Confiabilidad de Equipo Rotativo en Refinería de Cartagena (Ecopetrol S.A.)

Operador certificado de la Unidad de Hidrocracking desde 2021 en la Refinería de Cartagena (Ecopetrol S.A., Colombia).

Ingeniero de confiabilidad de equipos rotativos en Ecopetrol S.A. (Colombia), Refinería de Cartagena, desde 2022, con experiencia en monitoreo de condición y diagnóstico de fallas en turbomáquinas.

Experiencia en proyectos de ciencia de datos y machine learning enfocados en evaluación de confiabilidad y monitoreo de equipos.

Reconocido como Most Promising Engineer in Downstream en los Gulf Energy Excellence Awards (2024).

22 | 23 | 24 ABRIL



28° CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS



EXPO
MANTENER
2026



TOMA DE DECISIONES BASADA EN RIESGO EN ESCENARIOS COMPLEJOS

SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A GAS EN REFINERÍA DE CARTAGENA



Toma de decisiones basada en riesgo en escenarios complejos: Sistema de generación eléctrica a gas en Refinería de Cartagena

Por:

Anderson David Castillo Ramirez

Ingeniero de Confiabilidad de Equipo Rotativo

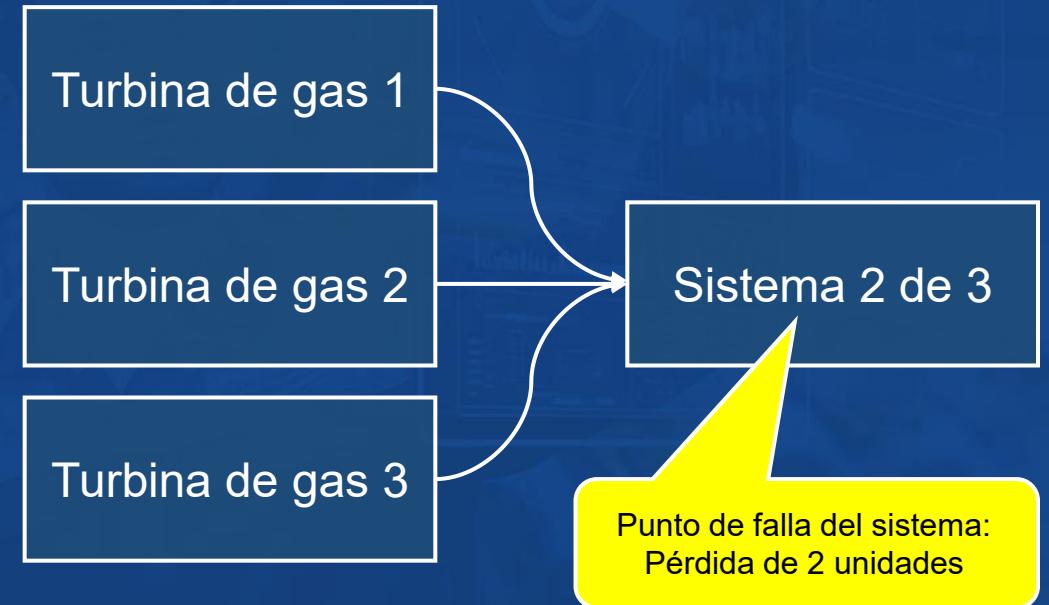
El sector Oil & Gas enfrenta alta volatilidad y riesgos en la gestión de activos. Se propone una metodología cuantitativa de análisis de riesgo para facilitar la toma de decisiones. Se propone un caso aplicado en la Refinería de Cartagena.

Introducción

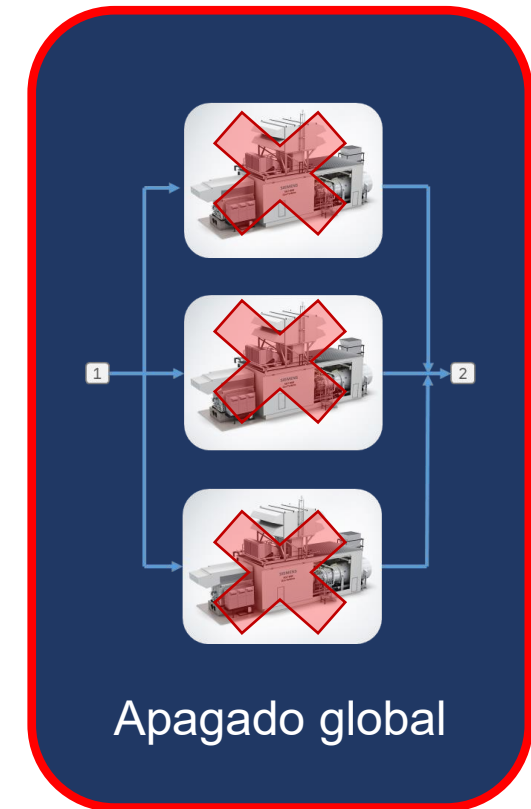
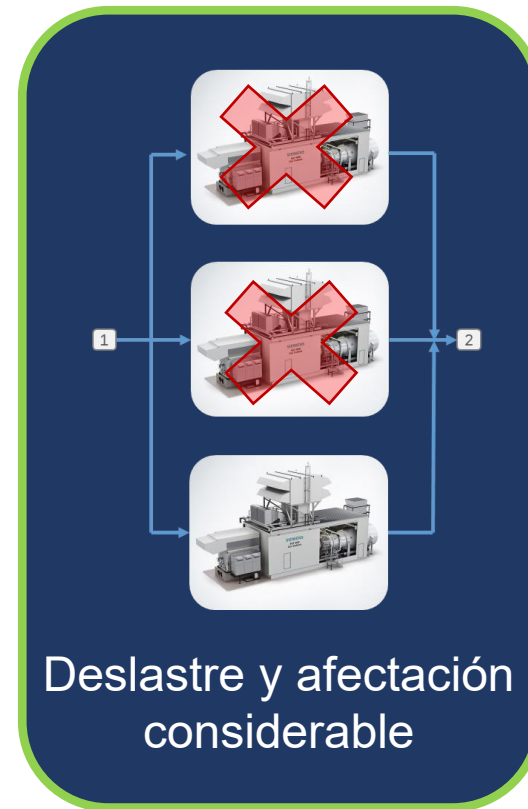
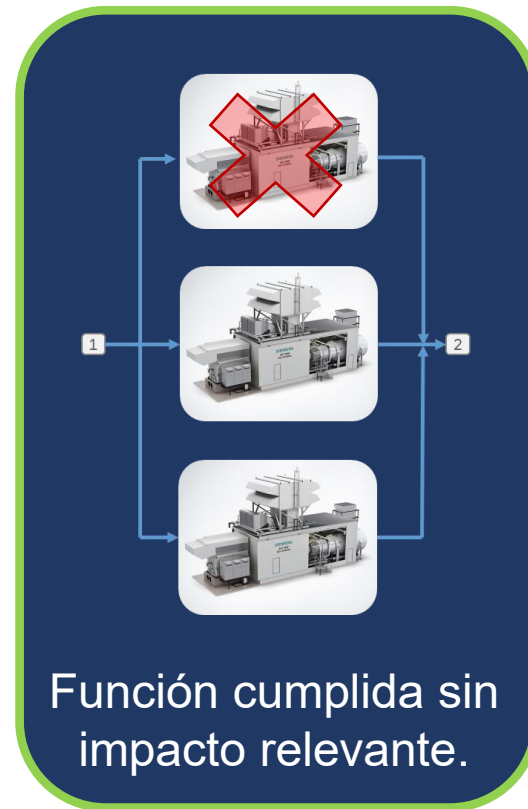
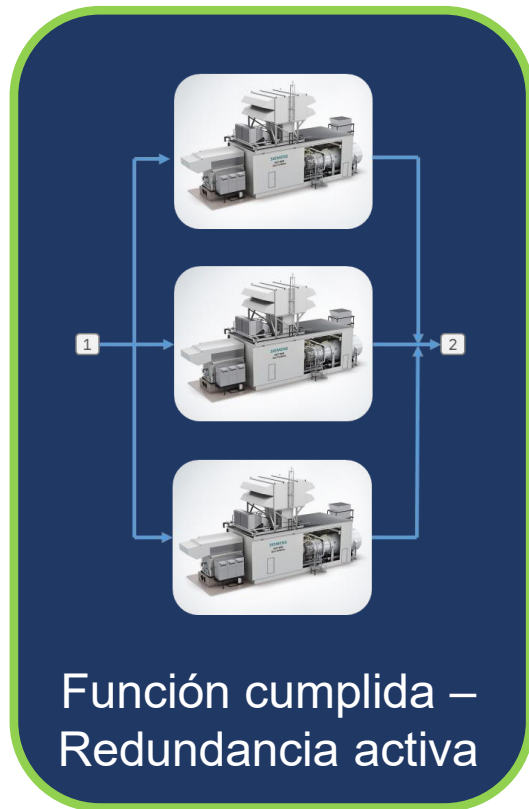
La Refinería de Cartagena opera un sistema de generación eléctrica y vapor en ciclo combinado con turbinas de gas y vapor. La interacción de sus subsistemas es compleja y sus niveles de confiabilidad varían en el tiempo, lo que dificulta el análisis.

Este trabajo se centra en las turbinas de gas y presenta la metodología empleada para evaluar su confiabilidad como insumo para decisiones gerenciales sobre continuidad operativa en escenarios complejos con diferentes restricciones.

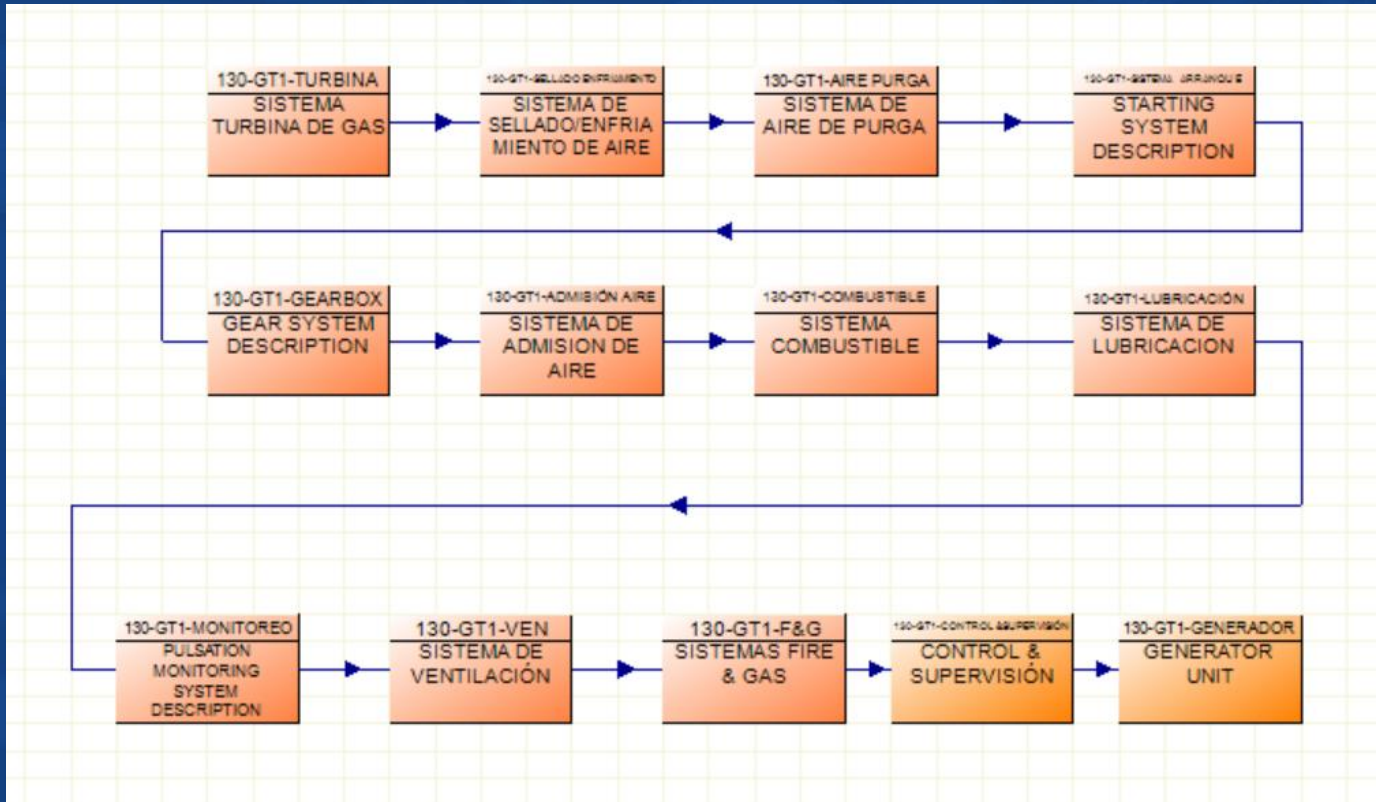
La continuidad operativa de la refinería exige la disponibilidad constante de al menos dos de sus tres turbinas de gas



El riesgo escala drásticamente desde una contingencia manejable hasta el colapso total de la generación eléctrica.



Cada turbina presenta una arquitectura de confiabilidad en serie, donde la falla de un único subsistema provoca el disparo inmediato de toda la máquina.

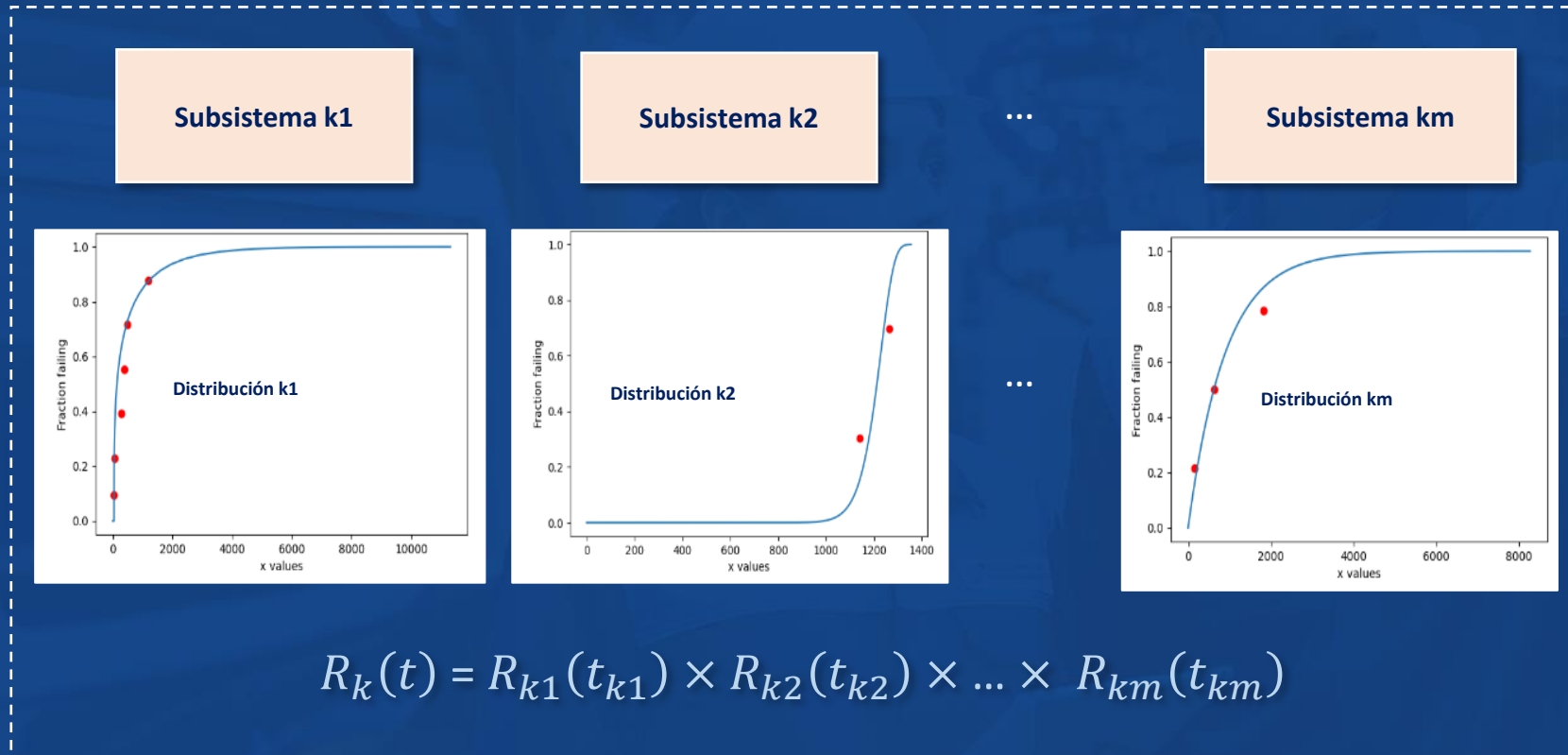


$$R_k(t) = \prod_{i=1}^m R_{ki}(t_{ki})$$

La confiabilidad del sistema es el producto de la confiabilidad de cada bloque

Cuantificamos la degradación de los equipos proyectando la probabilidad de falla de cada componente mediante ajustes con distribuciones estadísticas

Sistema k de n: 2 de 3



$$F_k(t) = 1 - R_k(t)$$

k = 1, 2, 3 corresponde a cada turbina de gas

La probabilidad de perder el sistema de generación integra tanto los disparos simultáneos aislados como las fallas inducidas en cascada.

$$F_{N-3} = F_1 F_2 F_3 + (R_1 F_2 F_3 + F_1 R_2 F_3 + F_1 F_2 R_3 + F_{N-1} * B) * C$$

**Fallas
independientes
simultáneas**

**Fallas condicionales en
cascada (transitorios)**

El esquema de operación del sistema implicaba redundancia activa en las turbinas de gas, lo que hizo que las tres máquinas llegaran a los mantenimientos mayores con horas de operación y confiabilidades similares.



Aumentar la confiabilidad...

Redundancia:

Agregar equipos, componentes o sistemas para cumplir la función requerida disminuyendo la probabilidad de falla global.

Tipos:

- Stand by en caliente.
- Stand by en frío.
- Stand by combinado.

Nota: en algunos sistemas con redundancia en frío es importante considerar el mecanismo de switcheo como un componente con su respectiva confiabilidad. Un equivalente sería la probabilidad de falla al arrancar.

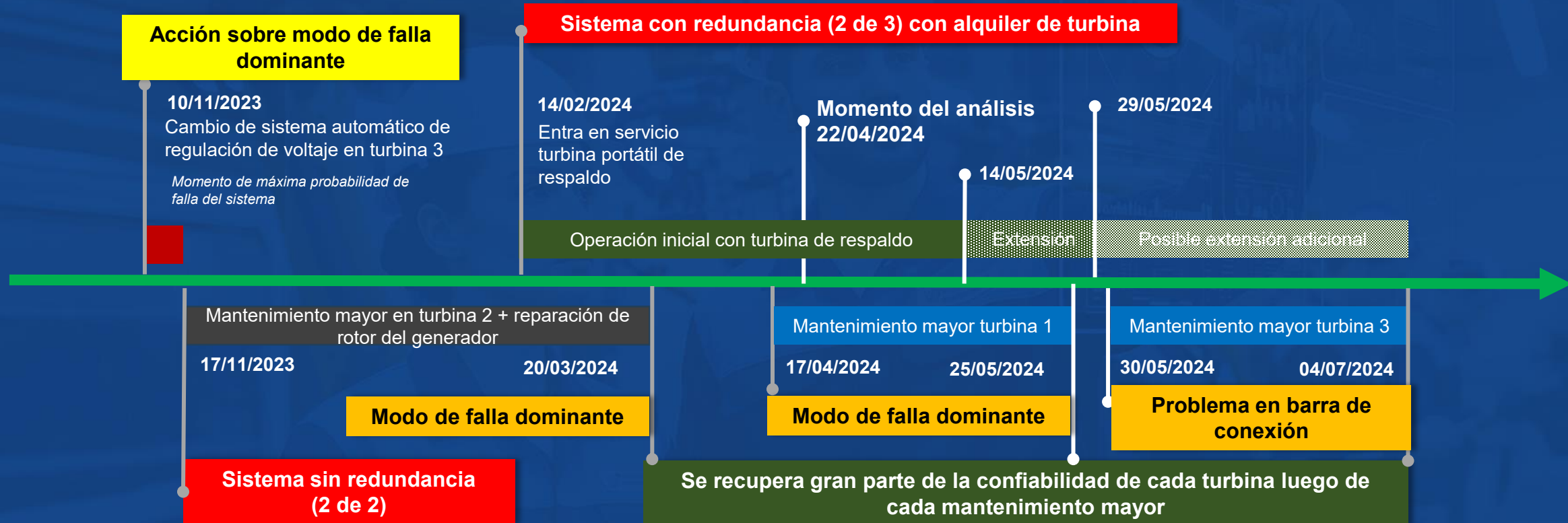
Por modos de falla:

Disminuir la probabilidad de que ocurran los modos de falla dominantes.


Acciones (algunos ejemplos):

- Reemplazo de componentes.
- Cambio o actualización de tecnología.
- Eliminación de componentes (simplificación de sistemas).

El riesgo era dinámico, evolucionaba en cada intervención y el análisis se volvió una herramienta continua de toma de decisiones.



Mapa del riesgo en función de la probabilidad de falla para cada una de las alternativas evaluadas

Alternativas	Probabilidad de falla de la función de generación eléctrica en el tiempo			
	Al final del mto mayor de la turbina 1 25/05/2024	Al inicio del mto mayor de la turbina 3 30/05/2024	Al final del mto mayor de la turbina 3 04/07/2024	Finalizados los mtos 05/07/2024
Alternativa 0: Turbina de respaldo hasta el 14/05/2024, contrato vigente, conservando condiciones actuales	42.1 %	24.4 %	31.6%	9.6 %
Alternativa 1: Turbina de respaldo hasta culminar mantenimiento en turbina 1 conservando condiciones actuales	20.6 %	24.4 %	31.6%	9.6 %
Alternativa 2: Turbina de respaldo hasta culminar mantenimiento en turbina 1, conectando turbina 3 a barra A	20.6 %	24.4%	31.6%	3.8 %
Alternativa 3: Turbina de respaldo hasta culminar mantenimiento en turbina 1, cambiando reguladores automáticos de voltaje en la turbina 1 y conectando la turbina 3 a la barra A	20.6 %	20.2 %	28.0 %	1.7 %
Alternativa 4: Turbina de respaldo hasta culminar mantenimiento en turbina 3, conectando la turbina 3 a la barra A	20.6 %	10.9 %	17.9 %	3.8 %
Alternativa 5: Turbina de respaldo hasta culminar mantenimiento en turbina 3, cambiando reguladores automáticos de voltaje en la turbina 1 y conectando la turbina 3 a la barra A 	20.6 %	7.8 %	14.4 %	1.7 %

Ante la evolución del riesgo, se plantearon diferentes alternativas eligiéndose la que involucraba una trayectoria de menor riesgo, siempre y cuando fuese técnica y económicamente viable



¡Gracias!