



28° CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS



EXPO
MANTENER
2026



Caso real: Parque Solar FV Canal del Dique Acuacar Cartagena

Implementación Metodología Análisis de Repuestos Centrados en Confiabilidad y Riesgo en Plantas de generación Fotovoltaicas en Colombia

Leidy Alejandra Urquijo, Msc (c)- Arif José Eslait Barrios, Msc

24 de Abril de 2026

22 | 23 | 24 | **ABRIL**



PROMISOL
Una empresa PROMIGAS



PROMIGAS

CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS



Caso real: Parque Solar FV Canal del Dique Acuacar Cartagena

**Implementación Metodología Análisis de
Repuestos Centrados en Confiabilidad y
Riesgo en Plantas de generación
Fotovoltaicas en Colombia**

Promisol (Grupo Promigas): O&M del Portafolio corporativo Solar Distribuido en Colombia

Promisol gestiona **65,7 MWp** distribuidos en **294 plantas SFV** de generación distribuida, operando como EPC O&M y gestor de activos. Presencia en **18 departamentos**, con enfoque en retail, industrial y comercial.

Negocios de bajas emisiones para generar valor en la transición energética

132 MWp

Solar

Operativos: **65,7**

Construcción: **66,8**

405

Proyectos

Operativos: **294**

Construcción: **111**

ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE REPUESTOS FASE 1

32,8 MWp

Solar

126

Proyectos





Canal Dique 10.9 MWp
Parque Solar de autogeneración a gran escala en funcionamiento, más grande de la Región Caribe.



Lamitech 2.3 MWp
Planta en techo más grande del país (8.500 m²)



Principales Fronteras Comerciales

Base de clientes diversificada, que abarca sectores estratégicos como **energía, industria, alimentos, retail, academia y servicios.**



0.7 MWp



27.2 MWp



27.2 MWp



0.8 MWp



1.98 MWp



0.7 MWp



52 sucursales
3.2 MWp



0.73 MWp



175 sucursales
27.2 MWp



3.12 MWp



1.3 MWp



1 MWp

MENSAJE CLAVE



La diversificación de clientes y capacidades consolida una plataforma comercial robusta, escalable y preparada para el crecimiento sostenido en **generación distribuida.**



La percepción



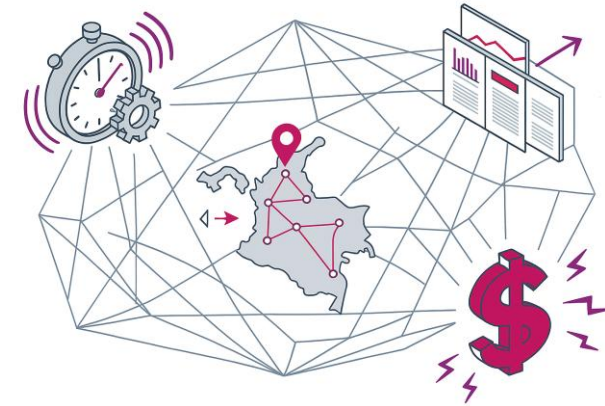
- La energía solar es estática y requiere bajo mantenimiento.
- No hay piezas móviles, por lo tanto, no se requiere inventario local.
- Las fallas son eventos altamente improbables.



La indisponibilidad de un componente de bajo costo puede desencadenar altas **pérdidas por lucro cesante y penalidades contractuales.**

Mediante **los acuerdos Colaboración**, la remuneración está asociada **a la generación.**

La realidad operacional



Tiempos de Reposición (Lead Times):

Prolongados, sujetos a importación y aduanas (Lead Times extensos). Componentes importados tardan entre 20 y 45 días.



Impacto Contractual

Lucro cesante y Penalidades por Energía No Suministrada (ENS). Incumplimientos en la frontera comercial con clientes



Dispersión Geográfica

Plantas remotas operando sin inventario local inmediato (Fronteras Costa caribe, Región andina, Valle cauca, Eje cafetero, Meta)

➤➤➤ Gestión Repuestos Centrados en Confiabilidad y Riesgo

"Implementación estratégica en plantas fotovoltaicas en Colombia para optimizar la disponibilidad y mitigar el riesgo económico."



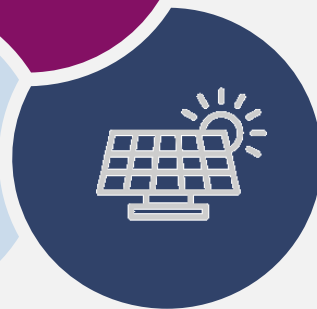
El objetivo principal era disponer de una metodología que nos permita "Tener los repuestos con la **oportunidad, calidad, cantidad y costo** para con ello contribuir con la disponibilidad y confiabilidad exigida a los equipos".

Gestión de Activos

▼ Riesgo



▼ Costo

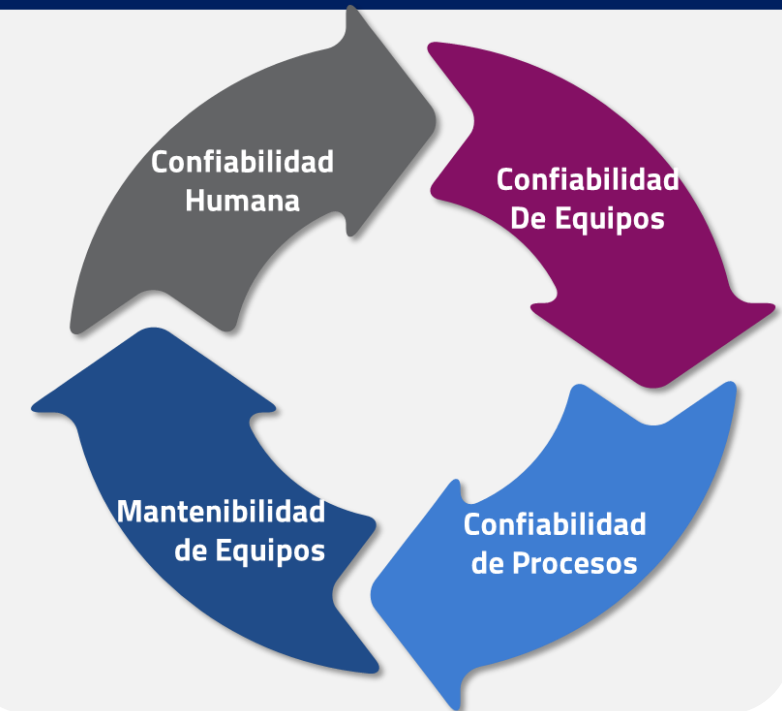


▲ Desempeño

Alineación Gestión de Activos en la Gestión de repuestos centrado en confiabilidad



Confiabilidad Operacional





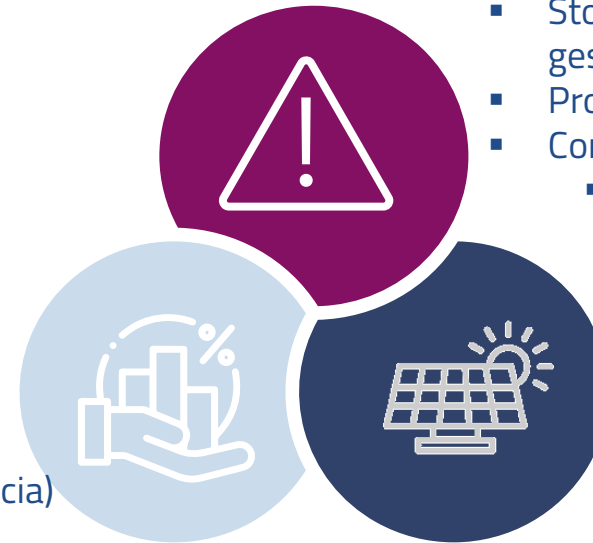
Alineación Gestión de Activos en la Gestión de repuestos centrado en confiabilidad



▼ Costo

- Inversión en repuestos
- Costos de inventario (capital, almacenamiento, obsolescencia)
- Costos de mantenimiento correctivo vs preventivo

▼ Riesgo



- Stock basado en un modelo de gestión riesgo
- Probabilidad de falla
- Consecuencia de la falla
 - Lucro cesante, penalizaciones y ENS, Tiempo de reposición (lead time)

▲ Desempeño

- Disminuir Tiempos de reparación
- Incremento Disponibilidad
- Cumplimiento de niveles de servicio- Energía

MENSAJE CLAVE



La gestión de repuestos es un habilitador crítico del desempeño y un amortiguador del riesgo, pero también un consumidor de capital. Por eso debe estar centrada en confiabilidad, no solo en logística.

➤➤➤ Gestión Repuestos Centrados en Confiabilidad y Riesgo

"Implementación estratégica en plantas fotovoltaicas en Colombia para optimizar la disponibilidad y mitigar el riesgo económico."



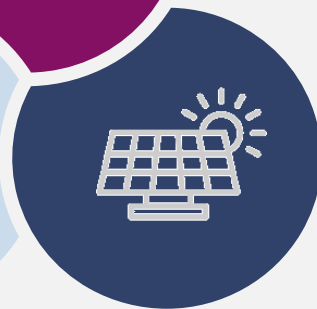
El objetivo principal era disponer de una metodología que nos permita "Tener los repuestos con la **oportunidad, calidad, cantidad y costo** para con ello contribuir con la disponibilidad y confiabilidad exigida a los equipos".

Gestión de Activos

▼ Riesgo



▼ Costo

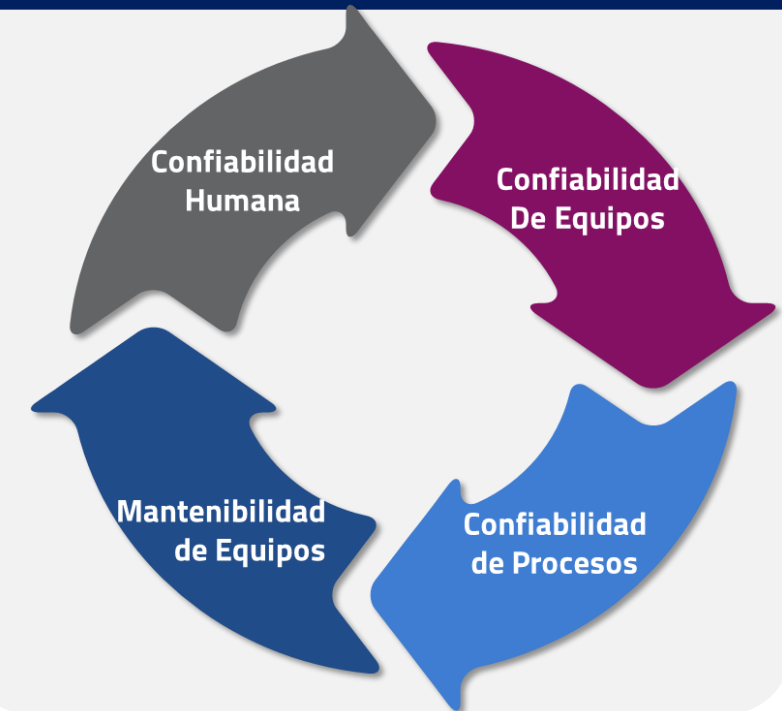


▲ Desempeño

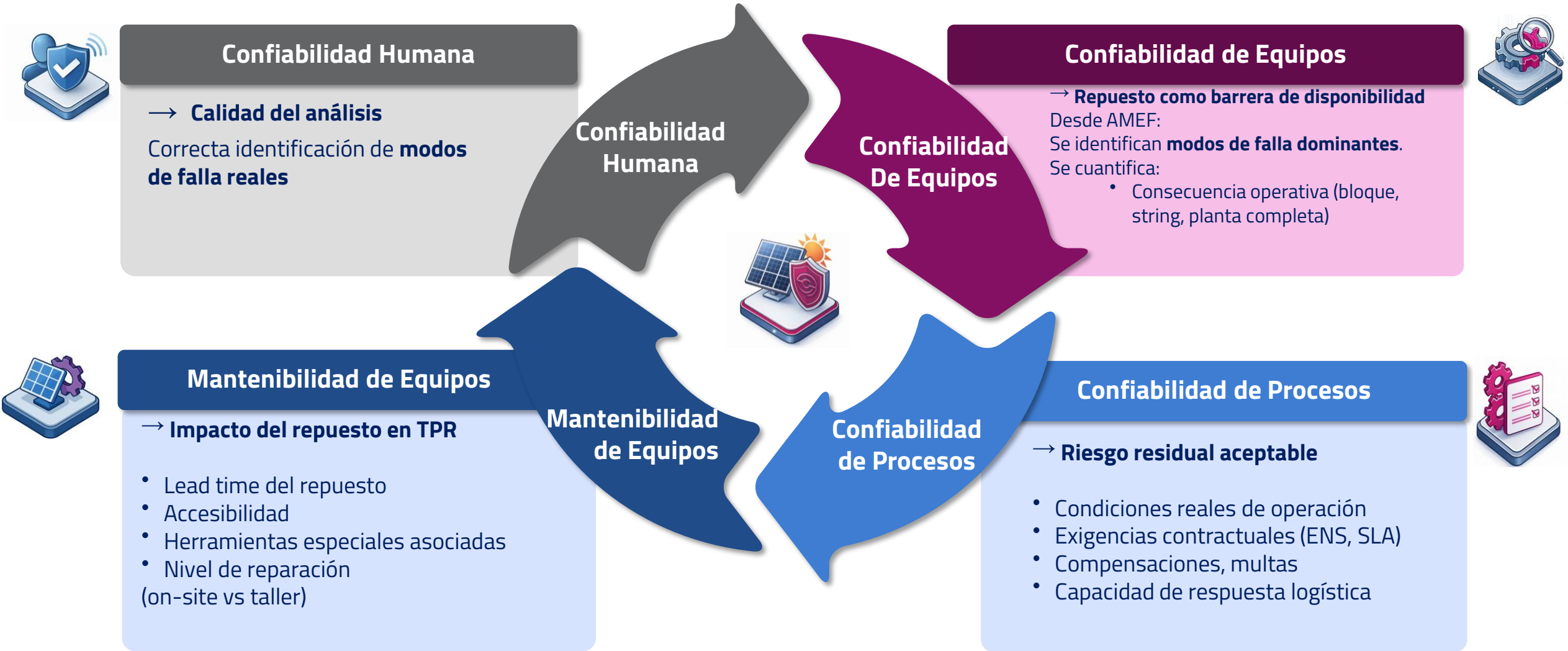
Alineación Gestión de Activos en la Gestión de repuestos centrado en confiabilidad



Confiabilidad Operacional

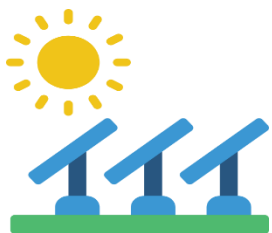


Implementación Modelo Confiabilidad Operacional



Tomado de: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la gestión de Activos. Carlos Parra Márquez y Adolfo Crespo Márquez.

»»» Escenarios de riesgo Modelados



294

**Plantas solares
fotovoltaicas evaluadas**



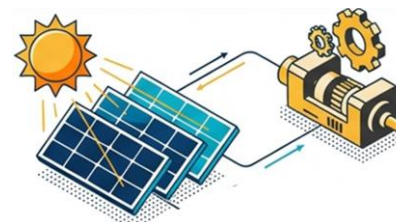
32,8 MWp

Capacidad gestionada



761

**Activos instalados
Unidades funcionales**



2.132

**Partes / Items
mantenible**



Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo

Necesidad de definir
Repuestos críticos



Marco Normativo: Alineación con Norsok Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.



Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo

**Necesidad de definir
Repuestos críticos**



**Definir los
repuestos a analizar**

Identificar y catalogar los
repuestos por equipo.

Marco Normativo: Alineación con NORSOK Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.



Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo



Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Identificación de fallas dominantes (aislamiento, arco eléctrico, corrosión).
Evaluación de consecuencias.

Necesidad de definir Repuestos críticos



Definir los repuestos a analizar

Identificar y catalogar los repuestos por equipo.

Marco Normativo: Alineación con NORSOK Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.



Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo



Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Identificación de fallas dominantes (aislamiento, arco eléctrico, corrosión).
Evaluación de consecuencias.

Necesidad de definir Repuestos críticos

Definir los repuestos a analizar

Identificar y catalogar los repuestos por equipo.



Determinar costos del repuesto

Establecer tiempo de abastecimiento, Lucro cesante, y ENS, lead time)

Marco Normativo: Alineación con NORSOK Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.

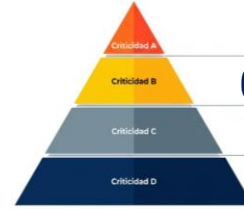


Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo



Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Identificación de fallas dominantes (aislamiento, arco eléctrico, corrosión).
Evaluación de consecuencias.



Clasificación por Criticidad (A/B/C/D)

En función del Impacto directo en la generación

Necesidad de definir Repuestos críticos



Definir los repuestos a analizar

Identificar y catalogar los repuestos por equipo.



Determinar costos del repuesto

Establecer tiempo de abastecimiento, Lucro cesante, y ENS, lead time)

Marco Normativo: Alineación con NORSOK Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.

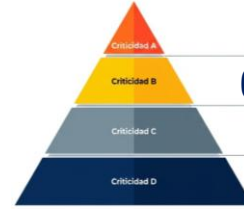


Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo



Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Identificación de fallas dominantes (aislamiento, arco eléctrico, corrosión).
Evaluación de consecuencias.



Clasificación por Críticidad (A/B/C/D)

En función del Impacto directo en la generación

Necesidad de definir Repuestos críticos



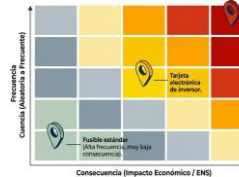
Definir los repuestos a analizar

Identificar y catalogar los repuestos por equipo.



Determinar costos del repuesto

Establecer tiempo de abastecimiento, Lucro cesante, y ENS, lead time)



Evaluación Cuantitativa del Riesgo

Riesgo = Frecuencia x Consecuencia.

Marco Normativo: Alineación con NORSOK Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.

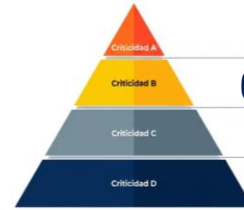


Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo



Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Identificación de fallas dominantes (aislamiento, arco eléctrico, corrosión).
Evaluación de consecuencias.

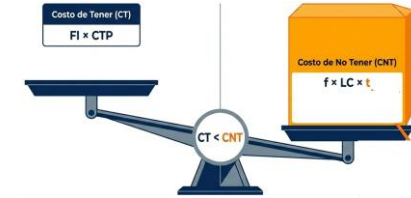


Clasificación por Criticidad (A/B/C/D)

En función del Impacto directo en la generación

Modelo Económico de Decisión

Evaluación del costo real de mantener vs. no mantener stock



Necesidad de definir Repuestos críticos



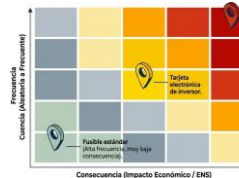
Definir los repuestos a analizar

Identificar y catalogar los repuestos por equipo.



Determinar costos del repuesto

Establecer tiempo de abastecimiento, Lucro cesante, y ENS, lead time)



Evaluación Cuantitativa del Riesgo

Riesgo = Frecuencia x Consecuencia.

Marco Normativo: Alineación con Norsok Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.



Marco Metodológico: Integración RCS, AMEF, Análisis Riesgo



Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Identificación de fallas dominantes (aislamiento, arco eléctrico, corrosión).
Evaluación de consecuencias.

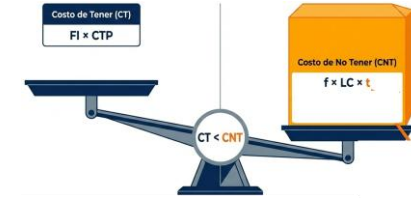


Clasificación por Críticidad (A/B/C/D)

En función del Impacto directo en la generación

Modelo Económico de Decisión

Evaluación del costo real de mantener vs. no mantener stock



Necesidad de definir Repuestos críticos



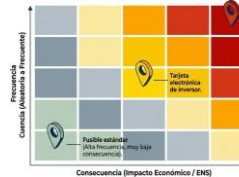
Definir los repuestos a analizar

Identificar y catalogar los repuestos por equipo.



Determinar costos del repuesto

Establecer tiempo de abastecimiento, Lucro cesante, y ENS, lead time)



Evaluación Cuantitativa del Riesgo

Riesgo = Frecuencia x Consecuencia.

Parámetros reposición

Aplicar modelo matemático y calcular reposición

Marco Normativo: Alineación con NORSOK Z-008:211e ISO 55001 (SGA).

Alineación: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos. Asociación Colombiana de Ingenieros – Capítulo Cundinamarca. Presentación técnica.



Jerarquización de activos Operacionales

El inventario pasa a ser una barrera activa dentro del modelo de confiabilidad:



Criticidad A Stock en Planta.

Fallas de alto impacto económico/seguridad y tiempos de reposición largos.



Criticidad B Stock Local Centralizado.

Impacto relevante, pero con alternativas de abastecimiento confiables.



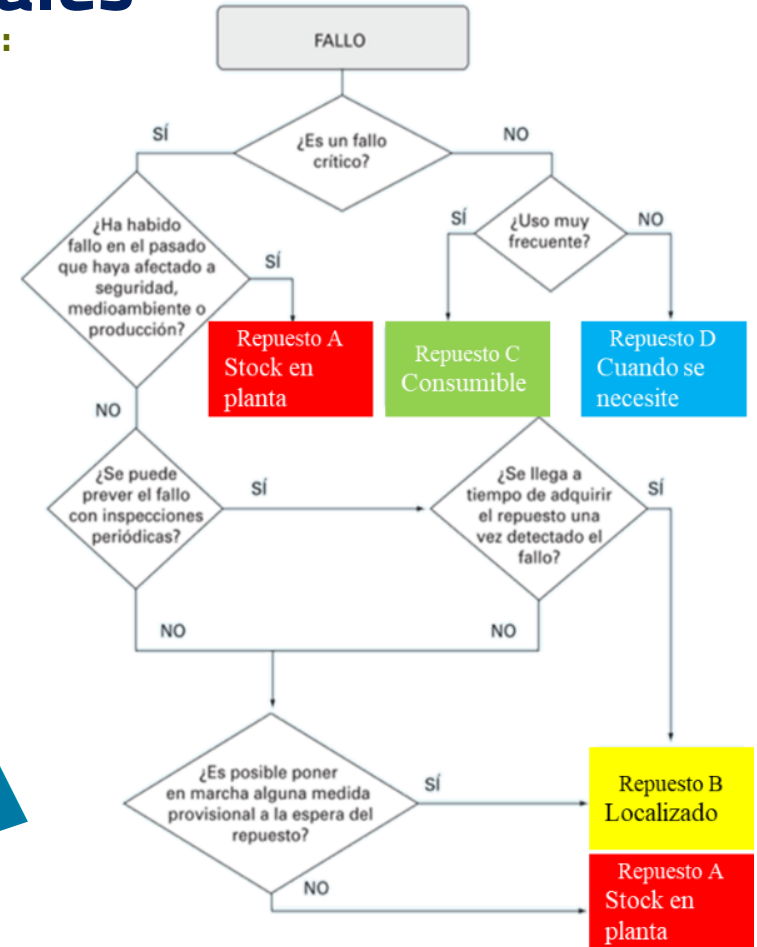
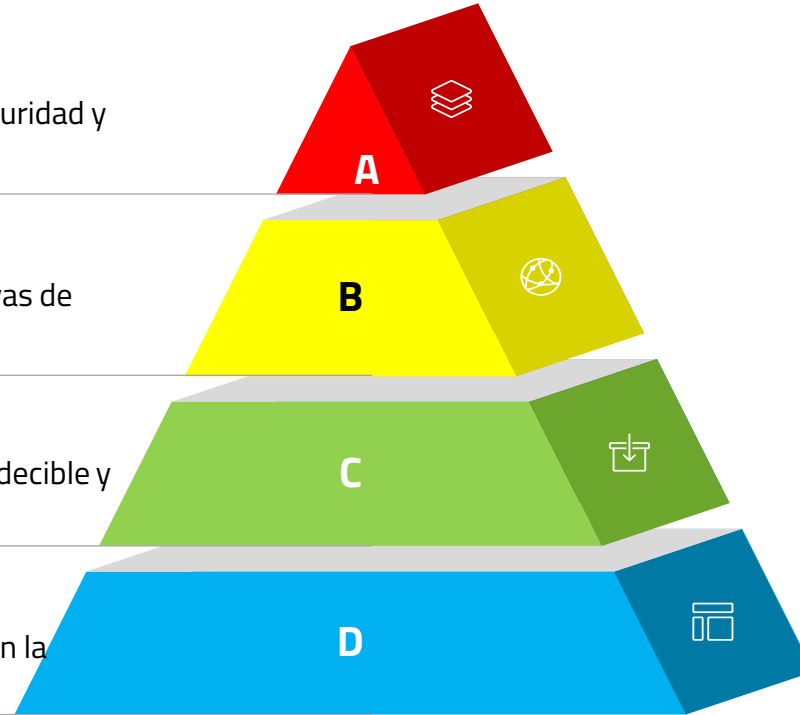
Criticidad C Consumibles.

Bajo riesgo operacional, demanda predecible y constante.



Criticidad D Compra Bajo Demanda.

Ítems no críticos sin impacto directo en la generación.



MENSAJE CLAVE



Los recursos de capital se orientan a los **repuestos que protegen la estabilidad** financiera de la operación.

Tomado de: Santiago García Garrido, COGENERACION, Diseño, operación y mantenimiento de plantas.



Jerarquización de activos Operacionales

El inventario pasa a ser una barrera activa dentro del modelo de confiabilidad:



Criticidad A Stock en Planta.

Fallas de alto impacto económico/seguridad y tiempos de reposición largos.



Previene pérdida total de función

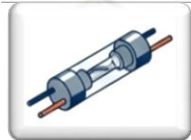


Criticidad B Stock Local Centralizado.

Impacto relevante, pero con alternativas de abastecimiento confiables.



Reduce TPR y ENS



Criticidad C Consumibles.

Bajo riesgo operacional, demanda predecible y constante.



Soporte operacional

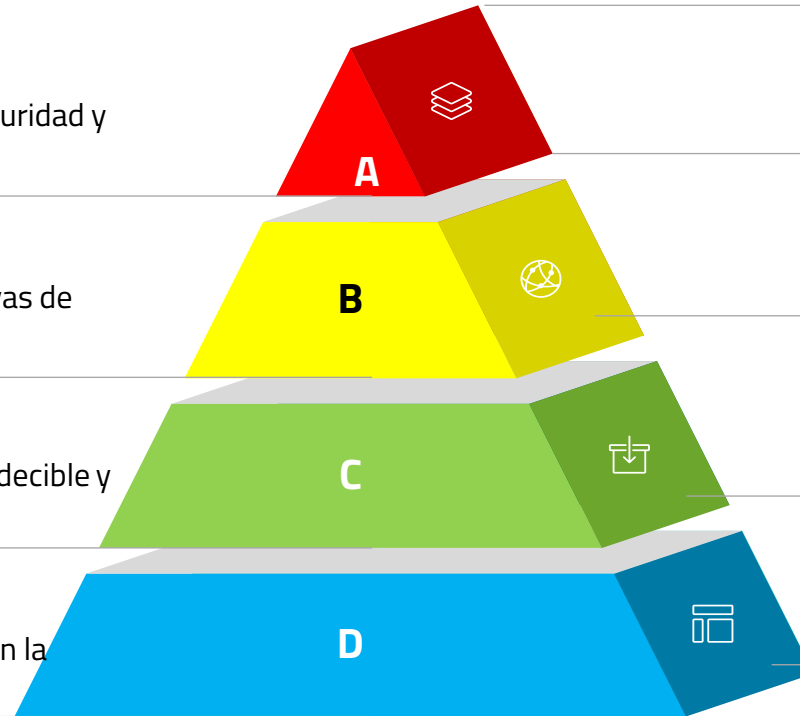


Criticidad D Compra Bajo Demanda.

Ítems no críticos sin impacto directo en la generación.



No impacta confiabilidad



MENSAJE CLAVE

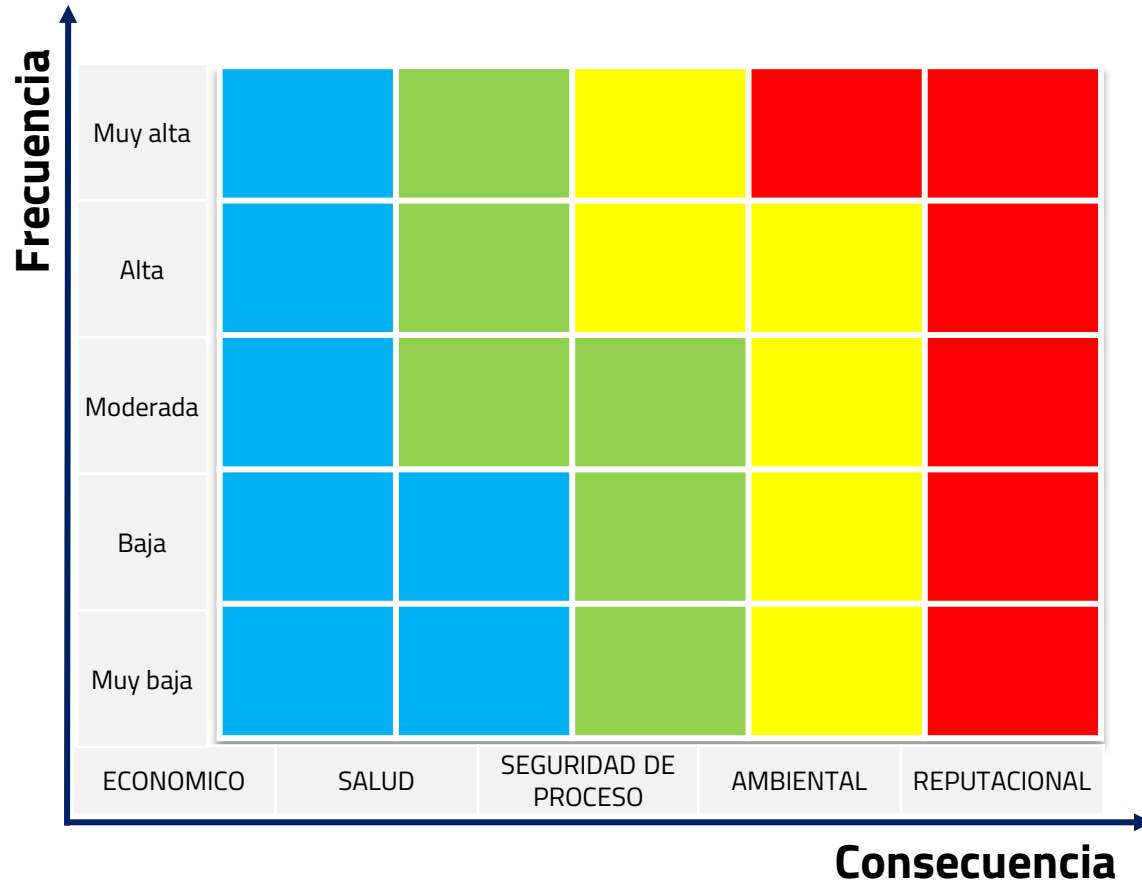


Los recursos de capital se orientan a los **repuestos que protegen la estabilidad** financiera de la operación.

Tomado de: Santiago García Garrido, COGENERACION, Diseño, operación y mantenimiento de plantas.



Cuantificación de la exposición: La matriz RAM Operativa



2132

Escenarios de riesgo



Combinaciones de:
Modo de falla–repuesto–consecuencia

Se analizaron sus impactos en:



- Costos por pérdida de producción en generación de energía (total o parcial) del servicio.
- Falla de servicio (compensación al cliente) hasta 15 días
- Costo de reparación temporal y definitiva.
- Se modelan impactos de hasta 120 días tiempo crítico para reparación

MENSAJE CLAVE



Un repuesto de bajo costo ingresa a la "Zona Roja" si su tiempo de reposición prolongado dispara la consecuencia económica por interrupción. La metodología reveló que la gran mayoría de los componentes no justifican inmovilización de capital.

Tomado de: NORSOK Standard. (2011). Z-008: Criticality analysis for maintenance purposes (Ed. 3). Standards Norway.

Resultados de la jerarquización

253



Repuestos Criticidad A

Impacto / Lead Time:
Alto impacto, reposición lenta
Estrategia de Inventario:
Stock permanente en planta
Items:
Transformadores,
Interruptores MT

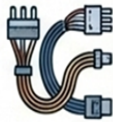
562



Repuestos Criticidad B

Impacto / Lead Time:
Impacto medio, alternativas viables
Estrategia de Inventario:
Stock local centralizado
Items:
Tarjetas electrónicas, sensores

922



Repuestos Criticidad C

Impacto / Lead Time:
Bajo riesgo, predecible
Estrategia de Inventario:
Consumibles de rotación
Items:
Fusibles, conectores MC4

395



Repuestos Criticidad D

Impacto / Lead Time:
Riesgo nulo, genéricos
Estrategia de Inventario:
Compra bajo demanda
Items:
Ítems no críticos.

MENSAJE CLAVE



El análisis permite visualizar exactamente dónde concentrar el capital para lograr la mitigación máxima, descartando la compra innecesaria de ítems D.



Costo del repuesto Vs Perdida de generación

Escenario 1: Interruptor Principal MT 3200A

Escenario: Falla de aislamiento interruptor media tensión principal 3.200 Amp. Reemplazo bracker ppal y elementos afectados en el tablero

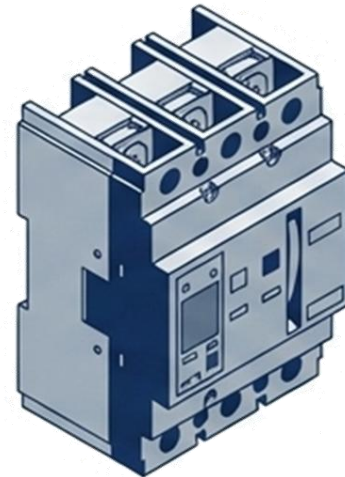
Afectación: 50% de la frontera comercial.

ENS + Lucro Cesante: \$103.688 USD

Componente: \$28.500 6USD

Lead Time: 60 a 90 días de espera

Dinámica: Altas pérdidas financieras por ENS.



\$75.188
USD



Costo de Mantener
Stock **\$30.939 USD**

Costo por Pérdida de Generación **\$134.627 USD**

**Pérdida
4.3x Mayor
al Costo**

Escenario 2: Transformador Potencia 2.5 MVA

Escenario: Cortocircuito con perdida de aislamiento bobinados del transformador / arco eléctrico.

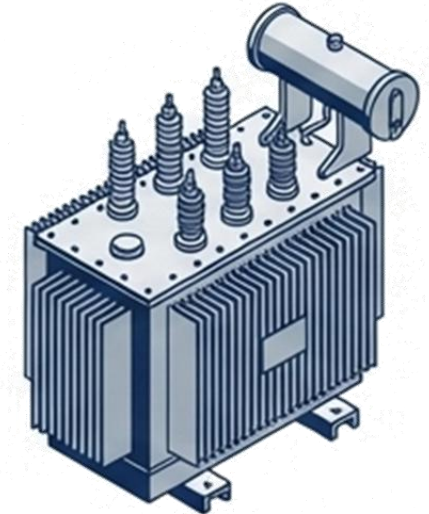
Afectación: 50% de la frontera comercial.

ENS + Lucro Cesante: \$128.573USD

Componente: \$47.926USD

Lead Time: 90 a 120 días de espera.

Dinámica: Muy baja frecuencia, pero con pérdida total del bloque de generación.



\$83.086
USD



Costo de Mantener
Stock **\$45.487 USD**

Costo por Pérdida de Generación **\$176.500 USD**

**Pérdida
3.7x Mayor
al Costo**



Condición de Inventario: Si el **Costo de Tener** es menor que el **Costo de No Tener**, el repuesto debe mantenerse en **stock estratégico**. La indisponibilidad supera fácilmente factores de **4x el valor del componente**. El enfoque en rotación histórica falla ante estos eventos.



El Modelo Económico: Costo de Tener vs. Costo de No Tener

Decisión de tener en inventario Basado en el modelo de valoración de riesgo



El eje económico de la metodología consiste en comparar el costo total de mantener un repuesto versus el riesgo económico asociado a no disponer de él en el momento requerido.



Tomado de: Ortiz, D. (s. f.). Optimización de inventarios de repuestos.



Cuantificación de la exposición: La matriz RAM Operativa



Módulos Fotovoltaicos

→ **Criticidad B**

(Baja probabilidad de falla masiva, pérdida por cadenas).



Tarjetas Electrónicas, IGBT, Ventiladores

→ **Criticidad B**
(Desgaste acelerado, componentes importados, alto impacto en conversión).



Fusibles, MC4, Cables CC/CA

→ **Criticidad C**

(Alta frecuencia ambiental, fácil reposición).



Modelo repetible, estandarizable y escalable para otras plantas SSFV



Transformadores, Relés, Válvula B

→ **Criticidad A**

(Baja frecuencia, severidad extrema, lead times prolongados).



Interruptores de Media Tensión

→ **Criticidad A**

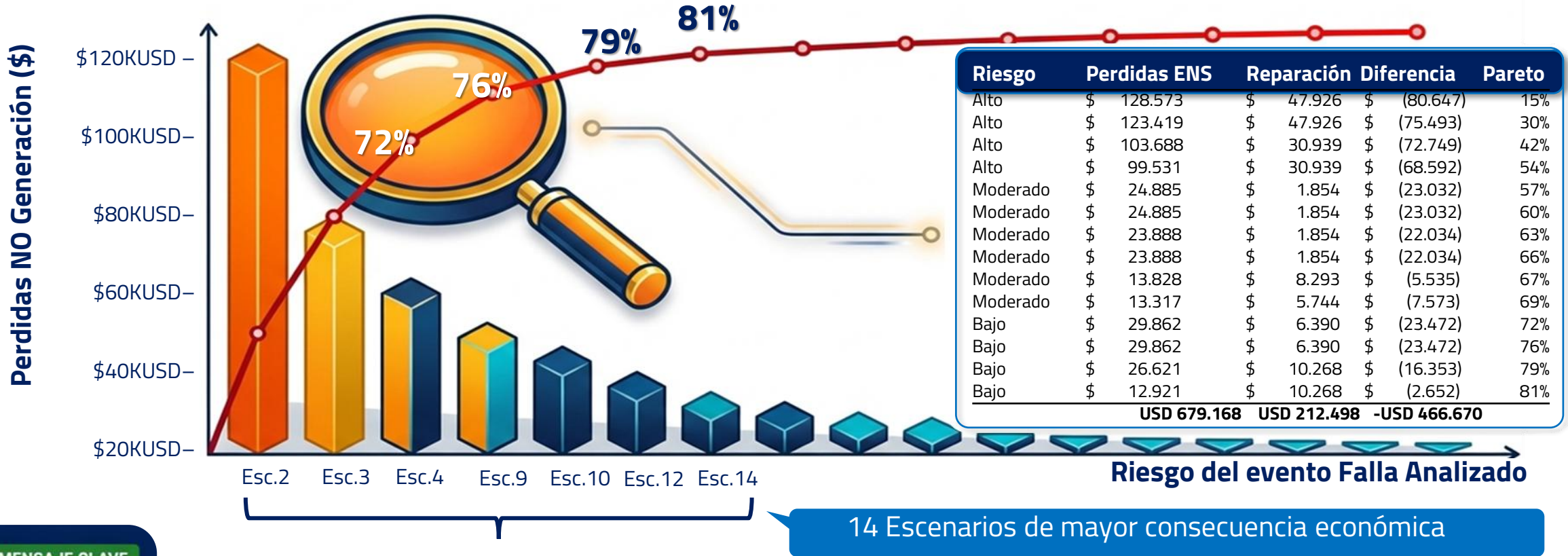
(Afectación total de la frontera comercial).



Este ejercicio permitió diferenciar entre **fallas de alta severidad, pero baja frecuencia**, típicas de transformadores e interruptores de media tensión, y **fallas frecuentes pero de bajo impacto**, como fusibles, conectores o ventiladores de inversores.



Pareto de escenarios de alta consecuencia económica



MENSAJE CLAVE

Menos del 10% de los repuestos genera más del 80% del riesgo económico total. Proteger estos 14 escenarios es proteger el negocio.



Justificación financiera: El Retorno de la Mitigación



MENSAJE CLAVE



La decisión es **económicamente óptima**. Cada USD invertido en inventario crítico (Categorías A y B) devuelve su valor exponencialmente al evitar interrupciones prolongadas.



Validación Global: Benchmarking de Excelencia Operacional (MRO)

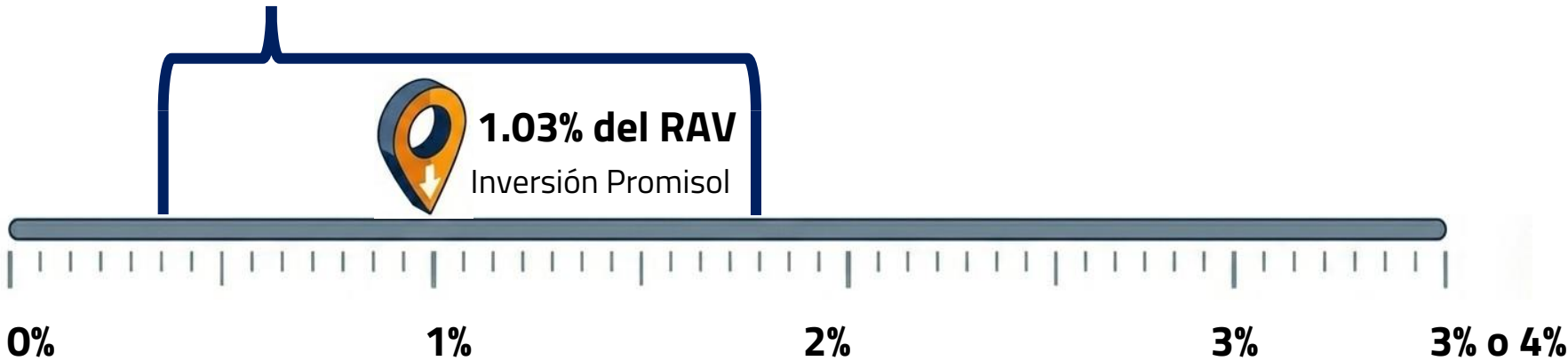
Inventario MRO como % del RAV (Replacement Asset Value)

0.3% y 1.5% del RAV

(basado en SMRP y EN 15341 – Top Quartile)



CAPEX base Instalada 32,8 MWp: \$ 19,75 MUSD



Stock suficiente para asegurar disponibilidad máxima.

Cero sobrecostos derivados de capital inmovilizado innecesario.

Equilibrio financiero entre el Costo de Tener y el Costo de No Tener.

Repuesto	Costo Parcial	%Base Inst.
Inversores	\$ 70.880	2,0%
Transformación	\$ 62.626	21,0%
Trackers	\$ 12.981	3,0%
Premoldeados	\$ 14.418	1,5%
Paneles Solares	\$ 13.472	0,2%
Fusibles y conectores	\$ 5.322	1,5%
TC's, TP's, EQ. Medida	\$ 18.945	1,5%
Terminales y Cables	\$ 4.822	1,5%
	\$ 203.467	

MENSAJE CLAVE



El portafolio de repuestos propuesto es suficiente para asegurar disponibilidad máxima sin generar sobrecostos por capital inmovilizado. Es un equilibrio perfecto comprobado internacionalmente.



Logros

Resultados del análisis económico

Cumplimiento generación eléctrica



Invertir con **criterios de confiabilidad** (análisis criticidad de repuestos) mejora **directamente el desempeño** operativo, maximizando generación y reduciendo riesgo de incumplimiento.

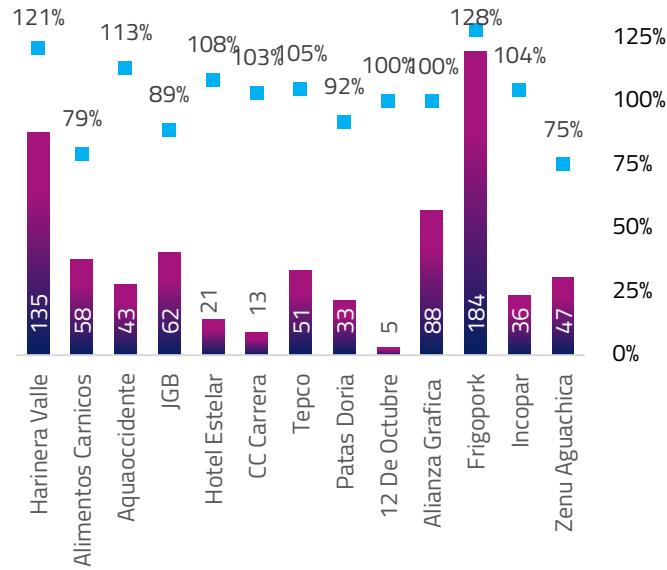
Energía comercializada Parques Solares Promisol

MARZO 2026



GdO Comercialización de Energía (MWh/mes)

105%

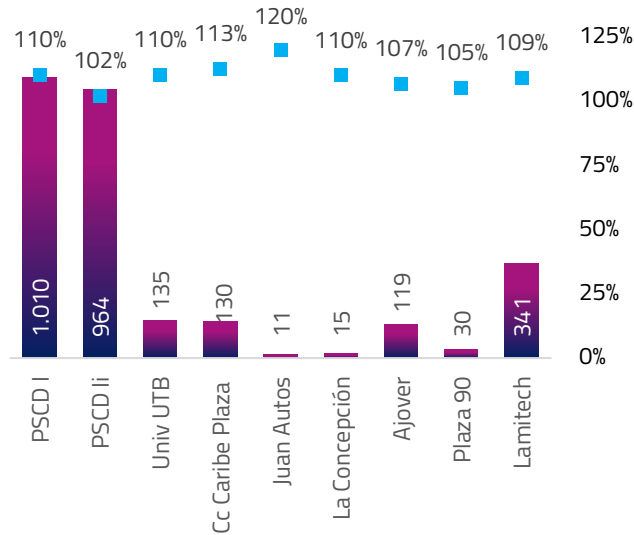


Mes: **777** MWh/mes



Surtigas Comercialización de Energía (MWh/mes)

107%

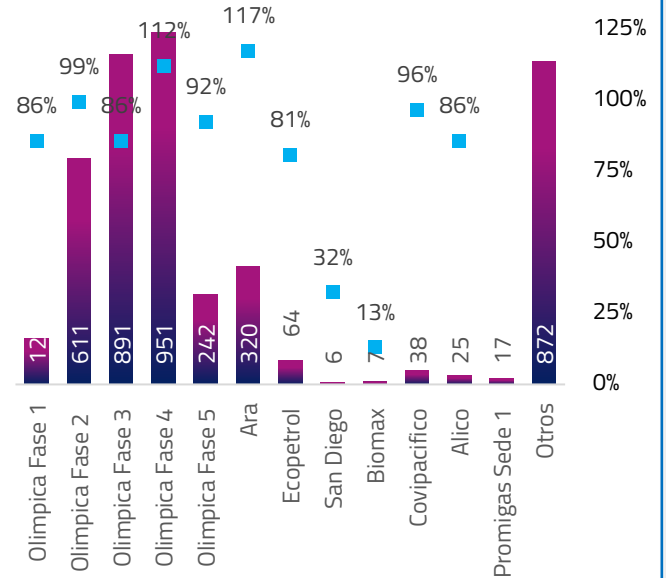


Mes: **2.756** MWh/mes



CEO Comercialización de Energía (MWh/mes)

97%



Mes: **3.919** MWh/mes



Logros

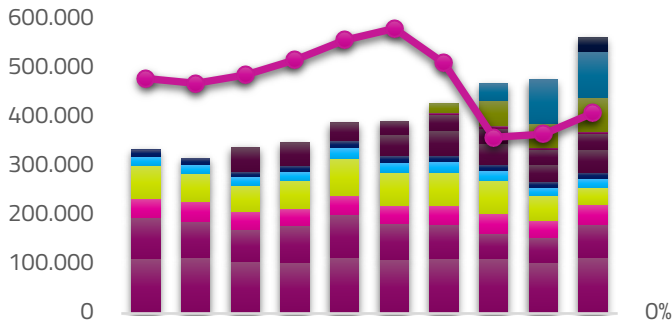
Incremento en la energía comercializada

Comercialización eléctrica



GdO Comercialización de Energía

+43%

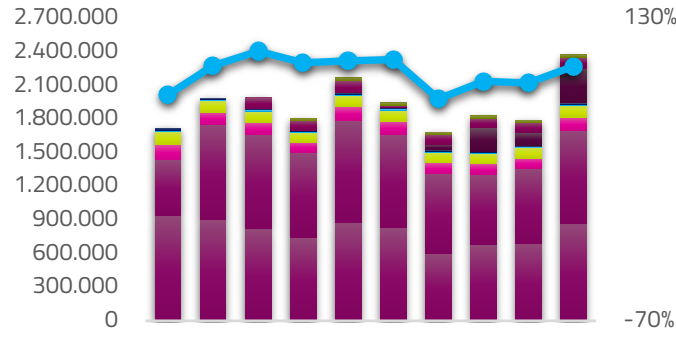


- INCOPAR
- Alianza Grafica
- Patas Doria
- Frigopork
- 12 De Octubre
- Tepco



Surtigas Comercialización de Energía

+61%

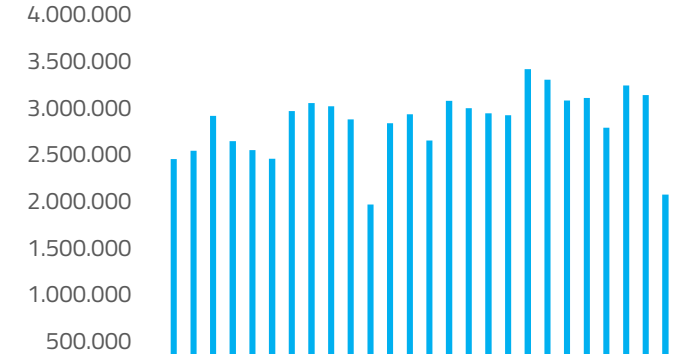


- Plaza 90
- Lamitech
- Juan Autos
- UTB
- Ajover
- La Concepcion
- Caribe Plaza
- PSCD FASE 2



CEO Comercialización de Energía

+13%



CEO Generación

MENSAJE CLAVE



Maximizando la comercialización de energía y reduciendo riesgo de incumplimiento. Mediante **los acuerdos Colaboración**, la remuneración está asociada **a la generación**.

60.1 GWh → 2025

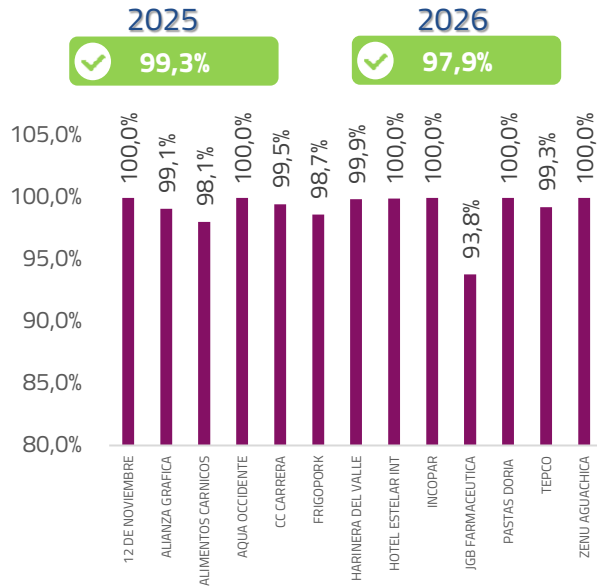


Logros

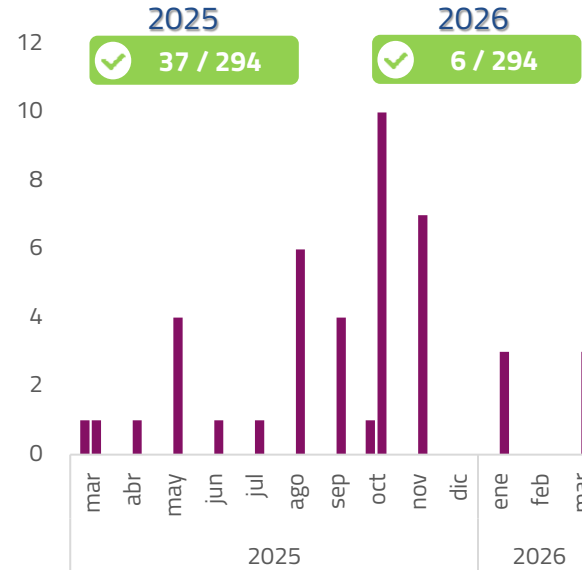
Mejora en los indicadores Mantenimiento, Confiabilidad y Sostenibilidad.



Disponibilidad del sistema



Confiabilidad del servicio



Emisiones evitadas

60.1 GWh/año

Evitó emisiones por:
10.620 tCO2 eq*
Anuales

Equivalente Forestal
Lo que absorberían
1.328 ha
de bosque

*FE CO2 UPME 2023: 0.177 KgCO2/kWh

MENSAJE CLAVE



El fortalecimiento del mantenimiento y la confiabilidad operacional, incorporando el análisis de gestión de repuestos, **redujo TPR** tiempos medios de reparación, **incrementó TPO**, **redujo interrupciones** por cliente y generó valor **ambiental** y **financiero** tangible.)



“El inventario crítico no es un costo logístico, es un mecanismo de **confiabilidad operacional**.
Su verdadero valor radica en evitar perdidas por interrupciones prolongadas.”

Leidy Alejandra Urquijo

Profesional de Ingeniería y Confiabilidad

Msc(c) en Ingeniería de Confiabilidad y Gestión
de Activos.

9 años de experiencia en la industria.

Leidy.Urquijo@promisol.co

3003888358

Arif José Eslait Barrios

Director Técnico Promisol

Msc en Ingeniería Mecánica.

24 años de experiencia en la industria.

Arif.Eslait@promisol.co

3227861162

Caso de Aplicación Promisol S.A.S. – Colombia, 2026.

¡Gracias!