

PROPUESTA DE INDICADORES (KPIs) PARA LA GESTIÓN DE LA AMENAZA DE CORROSIÓN EN ACTIVOS ALMACENADOS

Dámaris Martínez Lancheros

Estudiante de Maestría en Gestión de la Integridad y la Corrosión – UPTC

Especialista en Gestión de la integridad y la corrosión.

Business Development Manager – Tubinspek Colombiana SAS

damaris.martinez@uptc.edu.co

Sinopsis

Bastante se ha hablado sobre las buenas prácticas de mantenimiento y lubricación en la industria. Sin embargo, existe una amenaza que ha recibido menor atención técnica: la corrosión durante la etapa de almacenamiento de activos industriales, especialmente repuestos y equipos lubricados. En Oil & Gas es frecuente encontrar activos críticos que, antes de entrar en operación, ya presentan deterioro debido a condiciones de almacenamiento poco controladas, tiempos prolongados sin inspección o prácticas de preservación inadecuadas. Esta situación compromete la aptitud para el servicio, afecta la confiabilidad operativa y genera pérdidas económicas asociadas a reprocesos, bajas de inventario o fallas tempranas.

Uno de los principales vacíos identificados es la ausencia de indicadores específicos que permitan medir y gestionar la amenaza de corrosión durante el almacenamiento. Las decisiones suelen recaer en áreas logísticas sin criterios técnicos claros, y el almacenamiento no siempre es abordado como una etapa crítica dentro del ciclo de vida del activo.

Este trabajo propone un modelo integral de indicadores clave de desempeño (KPIs) para la gestión de la corrosión en activos almacenados, integrando variables técnicas, económicas y de confiabilidad. Se definen indicadores con sus respectivas fórmulas, unidades y umbrales, orientados a fortalecer la trazabilidad, el control de preservación y la toma de decisiones dentro de programas de integridad y gestión de activos.

Se concluye que la incorporación de KPIs específicos para almacenamiento permite visibilizar esta etapa como parte crítica del ciclo de vida del activo, mejorar la gestión del riesgo por corrosión y facilitar la optimización de recursos en sectores como Oil & Gas, con aplicabilidad en industrias marítima y aeronáutica, entre otras.

1. Introducción

En la gestión de activos industriales se habla con frecuencia del mantenimiento en operación, de la lubricación adecuada y de la inspección basada en riesgo. Sin embargo, la etapa de almacenamiento no siempre recibe el mismo nivel de atención técnica. En muchas organizaciones, el almacenamiento de equipos y repuestos críticos se gestiona principalmente desde áreas logísticas, sin una definición clara de responsabilidades técnicas respecto al tiempo máximo de permanencia, las condiciones ambientales permitidas o las prácticas mínimas de preservación.

Esta falta de gobernanza técnica genera un vacío importante. No siempre se tiene certeza de cuánto tiempo puede permanecer un activo almacenado sin intervención, quién debe definir las condiciones de preservación o cómo se controla la compatibilidad de materiales en bodega.

Tampoco es común encontrar criterios documentados para evaluar el riesgo asociado a activos lubricados que permanecen meses o años sin rotación ni inspección.

El resultado de esta desconexión se evidencia cuando el activo finalmente entra en servicio. Equipos y repuestos que aparentaban estar en condiciones aceptables presentan corrosión superficial, picaduras, degradación de empaques o pérdida de propiedades del lubricante. En algunos casos, el deterioro es leve y puede corregirse; en otros, compromete directamente la aptitud para el servicio y reduce la confiabilidad esperada desde el primer día de operación.

Además del impacto técnico, existen consecuencias económicas que no siempre se visibilizan. La baja de materiales vencidos, la reposición de inventarios deteriorados, el uso de espacio logístico improductivo y los costos asociados a reprocesos o demoras operativas representan pérdidas que podrían prevenirse con una gestión más estructurada del almacenamiento. Cuando no existen indicadores específicos, estas situaciones se abordan de manera reactiva y no como parte de una estrategia de integridad.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, el almacenamiento debe entenderse como una etapa más del ciclo de vida, con riesgos propios que requieren medición y control. Sin indicadores claros, resulta difícil integrar esta etapa dentro de programas de integridad, confiabilidad y gestión basada en riesgo.

2. Desarrollo

2.1 Marco técnico

La degradación por corrosión en almacenamiento no es un fenómeno nuevo desde el punto de vista electroquímico. Los mecanismos que afectan a los activos durante esta etapa son los mismos descritos para equipos en operación, pero con una diferencia importante: en el almacenamiento no siempre existen controles sistemáticos de monitoreo. La exposición prolongada a humedad relativa elevada (bastante común en el trópico), presencia de cloruros, contaminantes atmosféricos y variaciones térmicas favorece mecanismos como corrosión uniforme, picaduras y corrosión bajo depósitos.

En activos lubricados, la degradación puede acelerarse cuando el lubricante pierde propiedades protectoras, se contamina o no se renueva dentro de intervalos razonables. La ausencia de rotación y la falta de inspección periódica aumentan la probabilidad de que el deterioro pase desapercibido hasta el momento de la instalación.

Desde la gestión de integridad, marcos como la inspección basada en riesgo y la gestión del ciclo de vida establecen la necesidad de identificar amenazas, evaluar consecuencias y priorizar recursos. Sin embargo, el almacenamiento rara vez se aborda con el mismo nivel de formalidad que la operación. Esto genera una brecha entre la teoría de gestión de activos y la práctica real en bodegas y centros de distribución.

Por esta razón, resulta necesario traducir las variables que influyen en la corrosión durante almacenamiento en indicadores medibles que permitan cuantificar el riesgo, establecer límites aceptables y facilitar la toma de decisiones.

2.2 Identificación de variables críticas de almacenamiento

La gestión de la amenaza de corrosión en almacenamiento requiere primero identificar las variables que influyen directamente en el deterioro del activo. A diferencia de la operación, donde existen parámetros de proceso claramente definidos, en almacenamiento muchas de estas variables no se monitorean de manera sistemática.

Entre las variables técnicas más relevantes se encuentran las condiciones ambientales del lugar de almacenamiento, como humedad relativa, temperatura, presencia de contaminantes y proximidad a ambientes marinos. Estas condiciones pueden acelerar mecanismos de daño descritos en API RP 571, particularmente corrosión uniforme y picaduras en materiales ferrosos.

Otra variable crítica es el tiempo de residencia del activo en bodega. Aunque no siempre existe un límite definido, el almacenamiento prolongado sin inspección ni renovación de preservación incrementa la probabilidad de degradación. Desde la perspectiva de gestión basada en riesgo, conforme a los principios establecidos en API RP 580, el aumento del tiempo de exposición puede asociarse a un incremento en la probabilidad de falla, aun cuando el activo no esté en operación.

También deben considerarse variables relacionadas con prácticas de preservación: aplicación de recubrimientos temporales, uso de desecantes o inhibidores volátiles, condiciones de embalaje y frecuencia de inspección. La ausencia de control sobre estas prácticas genera incertidumbre respecto al estado real del activo.

Adicionalmente, la compatibilidad de materiales almacenados en un mismo espacio puede influir en el riesgo de deterioro. En bodegas industriales no siempre se controla que materiales disímiles permanezcan en contacto directo o en proximidad bajo condiciones de humedad. Esta situación puede favorecer procesos de corrosión galvánica, donde un metal actúa como ánodo y otro como cátodo, acelerando el deterioro del material más susceptible. Aunque este fenómeno es ampliamente conocido en diseño y operación, no siempre se considera de manera sistemática durante el almacenamiento, especialmente cuando la gestión se limita a criterios logísticos y no técnicos.

Desde la gestión de activos, conforme a los principios de ISO 55000, el almacenamiento debe entenderse como una etapa del ciclo de vida que requiere definición de responsabilidades, criterios técnicos y trazabilidad. Sin una estructura clara de gobernanza, resulta difícil establecer quién determina tiempos máximos de almacenamiento, condiciones aceptables o criterios para baja de inventario.

La identificación de estas variables constituye el punto de partida para la construcción de indicadores que permitan transformar condiciones cualitativas en métricas objetivas.

2.3 Metodología para la construcción de indicadores

La identificación de variables críticas en almacenamiento no es suficiente si estas no se transforman en métricas medibles. Para que una variable técnica pueda gestionarse dentro de un programa de integridad, debe traducirse en un indicador que permita seguimiento, comparación y toma de decisiones.

El proceso propuesto para la construcción de KPIs parte de cuatro etapas:

1. Identificación de la variable técnica

Se seleccionan variables que influyen directamente en la probabilidad de deterioro, como tiempo de residencia, condiciones ambientales, cumplimiento de preservación o compatibilidad de materiales.

2. Definición operativa de la variable

La variable debe definirse de forma cuantificable. Por ejemplo, el “tiempo prolongado en almacenamiento” se convierte en “número de meses desde ingreso sin intervención o inspección documentada”.

3. Establecimiento de fórmula y unidad de medida

El indicador debe expresarse mediante una fórmula clara, con unidades definidas y frecuencia de medición. Esto permite estandarizar su cálculo entre diferentes bodegas o instalaciones.

4. Definición de umbrales y criterios de acción

Todo KPI debe tener un rango aceptable y un punto a partir del cual se requiere intervención. Estos umbrales pueden establecerse con base en criterios técnicos, experiencia operativa o alineación con principios de gestión basada en riesgo.

Esta metodología busca garantizar que los indicadores no sean únicamente descriptivos, sino herramientas de gestión. En coherencia con los principios de la inspección basada en riesgo descritos en API RP 580, el objetivo es contar con información que permita priorizar recursos donde la probabilidad de degradación o la consecuencia económica sea mayor.

Asimismo, en línea con ISO 55000, los indicadores deben facilitar la toma de decisiones alineadas con el valor del activo y su impacto dentro de la organización, integrando criterios técnicos y económicos.

A partir de esta estructura metodológica, se propone un conjunto inicial de KPIs aplicables a la gestión de activos almacenados.

2.4 Propuesta de KPIs

Los organizamos en tres familias:

1. Técnicos (probabilidad de deterioro)
2. Confiabilidad / Gestión
3. Económicos

KPI 1 – Índice de Tiempo Crítico en Almacenamiento (ITCA)

Familia: Técnico

Objetivo: Medir el nivel de exposición del activo al riesgo de deterioro por permanencia prolongada en almacenamiento sin intervención documentada.

Fórmula:

ITCA = (Tiempo real de almacenamiento en meses) / (Tiempo máximo técnico recomendado de almacenamiento)

Unidad: Adimensional (relación)

Frecuencia de medición: Mensual

Umbral sugerido:

- $ITCA \leq 1 \rightarrow$ Condición aceptable
- $1 < ITCA \leq 1.2 \rightarrow$ Requiere inspección preventiva
- $ITCA > 1.2 \rightarrow$ Riesgo elevado, intervención obligatoria

Justificación técnica:

A mayor tiempo de residencia en condiciones ambientales no controladas, mayor probabilidad de activación de mecanismos de corrosión descritos en API RP 571. El indicador permite establecer un límite técnico basado en criterios de preservación y evitar almacenamiento indefinido sin evaluación.

KPI 2 – Índice de Cumplimiento de Preservación (ICP)

Familia: Técnico

Objetivo: Evaluar el grado de cumplimiento de las prácticas de preservación definidas para activos almacenados, con el fin de reducir la probabilidad de deterioro por corrosión.

Fórmula:

ICP = (Número de activos que cumplen completamente el plan de preservación) / (Número total de activos evaluados) $\times 100$

Unidad: Porcentaje (%)

Frecuencia de medición: Mensual o trimestral, según criticidad del inventario

Umbral sugerido:

- $ICP \geq 95 \% \rightarrow$ Condición aceptable
- $85 \% \leq ICP < 95 \% \rightarrow$ Riesgo moderado, requiere acciones correctivas
- $ICP < 85 \% \rightarrow$ Riesgo alto, intervención inmediata

Justificación técnica:

La aplicación adecuada de recubrimientos temporales, uso de desecantes, control de humedad, inspección periódica y renovación de lubricantes reduce la probabilidad de activación de mecanismos de daño descritos en API RP 571. Este indicador permite cuantificar el nivel real de implementación de dichas prácticas y visibilizar brechas entre el procedimiento establecido y la ejecución en campo.

KPI 3 – Índice de Riesgo por Incompatibilidad de Materiales (IRIM)

Familia: Técnico

Objetivo: Identificar y cuantificar la exposición al riesgo de corrosión galvánica asociada al almacenamiento conjunto de materiales disímiles bajo condiciones ambientales que favorecen la presencia de electrolito (humedad).

Fórmula:

IRIM = (Número de activos almacenados en condición de contacto o proximidad con materiales disímiles sin aislamiento) / (Número total de activos evaluados) $\times 100$

Unidad: Porcentaje (%)

Frecuencia de medición: Trimestral o en auditorías de almacenamiento

Umbral sugerido:

- $IRIM = 0 \% \rightarrow$ Condición controlada
- $0 \% < IRIM \leq 5 \% \rightarrow$ Riesgo bajo, requiere corrección programada
- $IRIM > 5 \% \rightarrow$ Riesgo elevado, intervención inmediata

Justificación técnica:

El contacto entre materiales con diferente potencial electroquímico en presencia de humedad puede generar procesos de corrosión galvánica, acelerando el deterioro del metal más anódico. Aunque este fenómeno es ampliamente considerado en diseño y operación, no siempre se controla durante almacenamiento. Este indicador permite visibilizar una condición que incrementa la probabilidad de daño descrita en API RP 571 y facilita la implementación de medidas preventivas como aislamiento físico o segregación de materiales.

KPI 4 – Índice de Hallazgos por Deterioro al Egreso (IHDE)

Familia: Confiabilidad / Gestión

Objetivo: Medir la proporción de activos que presentan deterioro asociado al almacenamiento al momento de su salida de bodega para instalación o uso.

Fórmula:

IHDE = (Número de activos con hallazgos de deterioro atribuibles al almacenamiento al momento del egreso) / (Número total de activos despachados en el periodo) $\times$ 100

Unidad: Porcentaje (%)

Frecuencia de medición: Mensual o por evento de despacho

Umbral sugerido:

$IHDE \leq 2\%$ $\rightarrow$ Condición controlada

$2\% < IHDE \leq 5\%$ $\rightarrow$ Requiere revisión del proceso de almacenamiento

$IHDE > 5\%$ $\rightarrow$ Riesgo significativo, análisis de causa raíz obligatorio

Justificación técnica:

Cuando un activo presenta corrosión, degradación de empaques, pérdida de propiedades del lubricante u otro tipo de deterioro al momento de su instalación, el almacenamiento deja de ser una etapa neutra y pasa a convertirse en una fuente directa de pérdida de confiabilidad. Este indicador permite establecer una relación tangible entre prácticas de almacenamiento y desempeño posterior, facilitando análisis de tendencia y acciones correctivas dentro del programa de integridad.

KPI 5 – Costo por Deterioro en Almacenamiento (CDA)

Familia: Económico

Objetivo: Cuantificar el impacto económico asociado a activos deteriorados durante su almacenamiento, incluyendo reprocesos, bajas de inventario o reposición.

Fórmula:

CDA = (Costo total de activos deteriorados atribuibles al almacenamiento en el periodo) / (Valor total de activos almacenados en el mismo periodo) $\times$ 100

Unidad: Porcentaje (%) del valor del inventario (opcionalmente puede expresarse también en moneda local)

Frecuencia de medición: Trimestral o semestral

Umbral sugerido:

- $CDA \leq 0.5\%$ $\rightarrow$ Condición controlada
- $0.5\% < CDA \leq 2\%$ $\rightarrow$ Requiere revisión de prácticas de preservación
- $CDA > 2\%$ $\rightarrow$ Impacto económico significativo, intervención estructural

Justificación técnica:

El deterioro en almacenamiento no solo afecta la integridad técnica del activo, sino también el capital invertido. Cuando materiales deben ser dados de baja por corrosión, vencimiento o degradación asociada a condiciones inadecuadas, se generan pérdidas económicas que pueden evitarse con una gestión preventiva. Este indicador permite visibilizar el impacto financiero

del riesgo técnico y fortalecer la toma de decisiones basada en datos dentro del marco de gestión de activos.

KPI	Familia	Fórmula	Unidad	Frecuencia	Umbral sugerido	Propósito
ITCA—Índice de Tiempo Crítico en Almacenamiento	Técnico	Tiempo real de almacenamiento / Tiempo máximo técnico recomendado	Adimensional	Mensual	≤ 1 aceptable; >1 requiere revisión	Controlar exposición prolongada sin intervención
ICP—Índice de Cumplimiento de Preservación	Técnico	$(\text{Activos que cumplen plan de preservación} / \text{Total activos evaluados}) \times 100$	%	Mensual o trimestral	≥ 95 % aceptable; < 85 % crítico	Verificar ejecución de prácticas preventivas
IRIM—Índice de Riesgo por Incompatibilidad de Materiales	Técnico	$(\text{Activos en contacto con materiales disímiles sin aislamiento} / \text{Total activos evaluados}) \times 100$	%	Trimestral	0 % ideal; >5 % crítico	Detectar riesgo de corrosión galvánica
IHDE—Índice de Hallazgos por Deterioro al Egreso	Confiabilidad	$(\text{Activos con hallazgos al egreso} / \text{Total activos despachados}) \times 100$	%	Mensual	≤ 2 % aceptable; >5 % requiere análisis	Relacionar almacenamiento con desempeño posterior
CDA—Costo por Deterioro en Almacenamiento	Económico	$(\text{Costo activos deteriorados} / \text{Valor total inventario almacenado}) \times 100$	% del inventario	Trimestral o semestral	≤ 0.5 % aceptable; >2 % crítico	Cuantificar impacto económico

El conjunto presentado corresponde a una primera estructuración aplicable a inventarios críticos en Oil & Gas. La metodología permite incorporar indicadores adicionales según contexto operativo, nivel de criticidad o madurez del sistema de gestión.

2.5 Integración de los KPIs en un esquema de seguimiento

La utilidad de los indicadores propuestos depende de su integración dentro de un sistema de seguimiento que permita visualizar tendencias y priorizar acciones. Para ello, se propone un esquema de consolidación tipo dashboard en herramientas como Excel o Power BI, donde los KPIs se agrupen por familia (técnicos, confiabilidad y económicos) y se presenten mediante semáforos de control según los umbrales definidos.

El tablero debe permitir:

- Visualizar el comportamiento histórico de cada indicador.
- Identificar activos críticos con ITCA superior a 1.
- Detectar desviaciones en el cumplimiento de preservación.
- Relacionar hallazgos al egreso con prácticas de almacenamiento.
- Cuantificar el impacto económico acumulado.

Este enfoque facilita la toma de decisiones basada en datos, alineando el almacenamiento con principios de gestión de activos e inspección basada en riesgo. La visualización periódica de los indicadores permite pasar de una gestión reactiva a una gestión preventiva, donde el almacenamiento se evalúa como parte integral del ciclo de vida del activo.

2.6 Ejemplo conceptual

Con el fin de ilustrar la aplicabilidad del modelo propuesto, se presenta un escenario conceptual en una bodega de inventarios críticos del sector Oil & Gas.

En un inventario de 200 activos almacenados, la aplicación del indicador ITCA permitiría identificar aquellos que superan el tiempo máximo técnico recomendado sin intervención documentada. De igual manera, el cálculo del ICP evidenciaría el nivel de cumplimiento del plan de preservación, y el IHDE permitiría establecer la proporción de activos que presentan hallazgos al momento del egreso.

Este ejercicio conceptual no busca representar un caso específico, sino demostrar cómo la integración de los indicadores facilita la priorización de activos críticos, la identificación de desviaciones y la estimación del impacto económico potencial mediante el CDA.

La metodología permite que, una vez se disponga de datos reales de operación, los indicadores puedan aplicarse de manera directa y generar análisis de tendencia, comparación entre periodos y evaluación de mejoras implementadas.

3. Conclusiones

1. El almacenamiento de activos industriales, especialmente en el sector Oil & Gas, representa una etapa crítica del ciclo de vida que puede influir directamente en la integridad y confiabilidad del equipo antes de su puesta en operación. Sin embargo, esta etapa no siempre es gestionada con el mismo nivel de rigurosidad técnica que la operación.
2. La ausencia de indicadores específicos dificulta la medición objetiva del riesgo de deterioro por corrosión durante el almacenamiento. Variables como tiempo de residencia, cumplimiento de preservación, compatibilidad de materiales y trazabilidad requieren transformarse en métricas cuantificables para permitir una gestión estructurada.
3. La metodología propuesta permite convertir variables técnicas en indicadores medibles, alineados con principios de inspección basada en riesgo y gestión de activos. Esta transformación facilita la priorización de intervenciones y la integración del almacenamiento dentro de programas formales de integridad.
4. El conjunto inicial de KPIs planteado integra dimensiones técnicas, de confiabilidad y económicas, permitiendo no solo identificar condiciones de riesgo, sino también visibilizar el impacto financiero asociado al deterioro en almacenamiento.
5. La aplicación conceptual presentada evidencia que el uso sistemático de indicadores puede apoyar la toma de decisiones preventivas, reducir la probabilidad de fallas tempranas y optimizar recursos. El modelo es escalable y susceptible de ampliación según el nivel de madurez de la organización y la disponibilidad de datos.
6. La incorporación de indicadores específicos para almacenamiento también contribuye a fortalecer la gobernanza técnica, al establecer criterios claros sobre responsabilidades, tiempos máximos de permanencia y condiciones mínimas de preservación. Esto permite que el almacenamiento deje de ser una actividad exclusivamente logística y se integre formalmente dentro de la gestión de integridad y activos.

4. BIBLIOGRAFÍA

AMPP (2020). *Corrosion Costs and Preventive Strategies*. Association for Materials Protection and Performance.

API RP 571 (2016). *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry*. American Petroleum Institute.

API RP 580 (2016). *Risk-Based Inspection*. American Petroleum Institute.

API RP 581 (2016). *Risk-Based Inspection Technology*. American Petroleum Institute.

ISO 55000 (2014). *Asset management — Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization.

Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2011). *Uhlig's Corrosion Handbook* (3rd ed.). Wiley.

6. CV

Ingeniera Mecánica. Especialista en Gestión de Integridad y Corrosión. Finalizó materias de la Maestría en Gestión de la Integridad y la Corrosión en la UPTC y actualmente desarrolla su tesis de grado. Cuenta con más de diez años de experiencia en servicios de mantenimiento industrial, con ensayos no destructivos e integridad de ductos en Oil & Gas. Ha trabajado en empresas con presencia en varios países de América, desarrollando el mercado colombiano. Business Development Manager en Tubinspek Colombiana SAS, empresa mexicana con expansión en Colombia.