

CMC COLOMBIA 2026



Sesión

BRÚJULA

1



BRÚJULA SESIÓN 28



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
COLOMBIA

3^a
EDICIÓN



Cómo pasar de inspecciones por rutina a decisiones defendibles basadas en riesgo

Pablo Martínez

Co-Founder - Reliabilitycs

2

¿Qué vamos a recorrer hoy?

01

El problema

Cuándo un plan de inspección deja de ser sostenible

02

La barrera real

Por qué no se implementó antes

03

El modelo de riesgo

Cómo se construyó

04

El plan de inspección

Qué cambió concretamente

05

Caso de negocio

Trade-offs asumidos y lecciones transferibles

06

Lecciones aprendidas

Trade-offs asumidos y lecciones transferibles

El problema

Cuándo un plan de inspección deja de ser sostenible



5

El Problema

El Desafío de los Activos Envejecidos

Los programas de inspección de frecuencia fija **pierden validez ante el cambio de condiciones operativas** y la acumulación de incertidumbre técnica. Es hora de **replantear el enfoque**.

Los activos **no fallan en el calendario**, fallan cuando el **riesgo supera el umbral tolerado**.



6

El Problema

El escenario: una planta de gas en operación por más de una década

La instalación

Planta de extracción y procesamiento de gas Onshore y Offshore. Más de 10 años de operación continua con plan de inspección determinístico basado en frecuencias fijas por tipo de equipo.

Entorno agresivo

Ambiente marino costero tropical. Cloruros: $>1.500 \text{ mg/m}^2/\text{día}$ (categoría C5-M, ISO 9223). Tasas de corrosión en acero al carbono sin protección: 15–35 mpy.

Mecanismos activos

Corrosión atmosférica externa (~40% del acero al carbono), CUI, corrosión interna CO_2 y corrosión componentes de acero al carbono que emergen desde el suelo' con interface suelo/air.

El mecanismo dominante no era la corrosión interna —como suele asumirse en gas— sino la corrosión atmosférica externa. Esto definió todo el enfoque del modelo.

El Problema

Cuatro síntomas que evidenciaron que el plan ya no era sostenible

Sin diferenciación de criticidad

Inspecciones que describían condiciones externas pero no cuantificaban probabilidad de falla ni diferenciaban riesgo real entre componentes.

Técnicas avanzadas sin jerarquía

PAUT, mapping y emisión acústica aplicadas a gran volumen de componentes sin ranking de criticidad. Costos elevados, foco disperso.

Doble carga insostenible

Las inspecciones especializadas se acumularon sobre el plan base sin reemplazarlo. Extenso y costoso, pero técnicamente indistinguible entre activos de alto y bajo riesgo.

Sin visibilidad del riesgo financiero

El 8% de los componentes concentraba consecuencias promedio de **USD 18,3M** por evento de pérdida de contención. Sin RBI, este dato era desconocido.

El Problema

El Caso de Estudio

Contexto

Planta de procesamiento de gas en entorno marino costero tropical. Condiciones severas de corrosión atmosférica y alta humedad relativa persistente.

Objetivo

Migración de un enfoque **determinístico** (frecuencia fija) a un modelo basado en riesgo conforme a **API RP 580/581**, optimizando recursos y priorizando según criticidad real.

Opciones Evaluadas

Barreras y Alternativa

9

La barrera real

**No fue el argumento técnico.
Fue la combinación correcta en el momento correcto.**



Presión técnica interna

5 años de insistencia del equipo de integridad con diagnóstico documentado.



Caso de negocio cuantificado

Una evaluación de madurez en gestión de activos identificó al RBI como el componente de mayor impacto financiero potencial. Los números cambiaron la percepción gerencial.



Lineamientos de la casa matriz

La organización requería avanzar en gestión de activos. El RBI pasó de ser una solicitud técnica a una necesidad estratégica.

Aprobación del proyecto. Identificar y aprovechar las "ventanas de oportunidad organizacional" es parte de la estrategia técnica.

10

Alternativa

¿Por qué migrar hacia RBI Semi-cuantitativo?

X DESCARTADO

Determinístico con ajustes

Priorización de riesgo

Frecuencia fija por tipo de equipo.
Sin diferenciación real de riesgo.

Costo de inspección

Estructuralmente escalante: cada nuevo mecanismo de degradación suma técnicas (PAUT, mapeo, EA) sin eliminar las anteriores.

Gestión de datos

Hojas Excel fragmentadas: retrabajos, errores en evaluaciones y retrasos por falta de integración.

Trazabilidad y caso de negocio

Sin vínculo activo → riesgo → decisión.
Riesgo financiero de USD 18,3 M/evento no visible.

VS

✓ SELECCIONADO

RBI Semi-cuantitativo API 580/581

Priorización de riesgo

POF × COF por componente.
Activos de alto riesgo identificados con certeza.

Costo de inspección

Recursos focalizados donde el riesgo lo justifica.
Reducción proyectada del 38%.

Gestión de datos

Migración a software de gestión de inspecciones basado en riesgo, con monitoreo continuo actualizable tras cada inspección.

Trazabilidad y caso de negocio

Trazabilidad completa auditada por norma.
USD 2,1 M ahorro proyectado en 10 años.

Criterio de selección: RBI API 580/581 fue la alternativa que simultáneamente eliminó el costo escalante, cuantificó el riesgo en USD y entregó trazabilidad auditable, incluyendo los lianamientos de casa matriz.

11

El Modelo de Riesgo

Cómo se construyó

Referencias normativas

API RP 580 · API RP 581 · DNV RP-G101

12

El esquema cumplía con la norma. Pero escondía una limitación crítica.

"Al no priorizar por riesgo, todos los activos recibían el mismo nivel de atención, independientemente de su probabilidad real de falla o de las consecuencias de una pérdida de contención."

Lo que garantizaba

- Cumplimiento normativo
- Registro de condiciones
- Cobertura de todos los activos
- Historial de inspecciones

Lo que no podía hacer

- Diferenciación por riesgo real
- Trazabilidad activo → riesgo → decisión
- Justificación técnica del nivel de recurso
- Visibilidad del riesgo financiero asumido

El modelo sigue API RP 580/581. Enfoque semi-cuantitativo

$$\text{RIESGO} = \text{POF} \times \text{COF}$$

Probabilidad de Falla (POF)

$$\text{POF} = \text{GFF} \times \text{CF} \times \text{Fms}$$

- | | |
|-----|--|
| GFF | Tasa genérica de falla (tablas API 581) |
| CF | Factor de corrosión: pérdida de pared vs. espesor mínimo |
| Fms | Factor de gestión: madurez del sistema de gestión |

Consecuencia de Falla (COF)

Impacto financiero por pérdida de contención:

- Reparación del componente
- Daños a equipos circundantes
- Lesiones a personal
- Limpieza ambiental
- Interrupción al negocio

El cálculo se realizó **componente por componente**, por mecanismo de deterioro activo. En total 1.272 componentes evaluados individualmente.

El estudio se enfocó en los sistemas críticos de las instalaciones operativas onshore y offshore. Equipos a presión con manejo de fluidos inflamables o tóxicos.

Las asunciones documentadas son parte del rigor técnico

"Las asunciones no son debilidades — son parte integral y documentada del modelo de riesgo."

Protocolo de asunciones

- Identificación formal de cada dato faltante
- Asunción conservadora documentada y justificada
- Trazabilidad completa para revisión y auditoría
- Revisión prioritaria en próxima inspección

Premisa fundamental

En toda planta con historia operativa compleja, la información perfecta no existe. La respuesta correcta no es paralizar el análisis.

Valor para auditorías

Un modelo con asunciones documentadas es defendible. Un modelo con datos "completos" no declarados es un riesgo de credibilidad. La transparencia metodológica es un activo técnico.

Equipo y Metodología: La clave para un RBI efectivo

El éxito de la implementación del modelo RBI se basó en una combinación estratégica: un equipo multidisciplinario experto y una metodología de gestión ágil que permitió adaptarse a las complejidades del proyecto y entregar valor continuamente.

Equipo Consultora (RBI)

- Especialista RBI
- Ingenieros de Integridad Mecánica
- Desarrolladores de Software (Reliabytics)
- Gerente de Proyectos

Equipo Cliente (Planta)

- Ingenieros de Corrosión e Integridad Mecánica
- Control de Calidad e Inspectores NDT
- Mantenimiento y Operaciones
- HSE (Salud, Seguridad y Ambiente)

¿Por qué agilidad en un proyecto de ingeniería RBI?

Permitió obtener ganancias tempranas desde el inicio, sin esperar el análisis completo.

Mayor Adaptabilidad

- Iteraciones cortas con entregables concretos
- Revisiones periódicas para ajustar criterios
- Transparencia en tiempo real

Resultados Acelerados

- Detección temprana de inconsistencias en datos
- Primeros resultados de riesgo disponibles antes del 100%
- Formato adaptable a complejidades no previstas

Un modelo con premisas explícitas es más defendible que un plan basado en experiencia sin trazabilidad.

Situación	Asunción aplicada	Criterio
Líneas <2"	Criticidad del componente representativo del lazo	Volumen no justifica análisis individual
Tuberías enterradas	Suelo arcilloso saturado, tasa de corrosión 10 mpy	NACE RP0169
Equipos sin espesor medido	Espesor nominal del databook de construcción	Único dato disponible y auditado
Mercurio en gas	Excluido como fluido tóxico relevante	0,005 mg/Nm ³ vs. referencia 0,28 mg/Nm ³ (1,8% del umbral)
Gasoducto submarino	Evaluación de riesgo considerando DNV RP-G101	Criterio conservador para incluir este activo en el estudio.
Sistemas no críticos para la planta: Sistema contra incendio, agua domestica, aire de instrumentos, generación por diésel y gas, entre otros	Evaluación de riesgo cualitativa	Toman evaluación de riesgo bajo criterio de juicio experto.

Plan de Inspección

Qué cambió concretamente

Dos tareas resultaron más demandantes de lo previsto

Planos e integridad de datos

La planta asumía tener planos actualizados. Se confirmó como incorrecto una vez iniciado el proyecto. La actualización de lazos de integridad no estaba en el alcance original.

Depuración de datos históricos

10 años de reportes de múltiples contratistas con formatos no unificados. Requirió recurso adicional no planificado.

Resultado positivo: Se generó un formato único de reporte de inspección como entregable adicional, hoy es el estándar del equipo de integridad de la planta.

Aspecto adicional: Si la planta necesita actualizar su taxonomía, no hacer coincidir ese proceso con otros estudios simultáneos.

¿Cuándo un plan de inspección deja de ser técnicamente válido?

- Los mecanismos de deterioro dominantes ya no están capturados en el plan base
- La intensidad de inspección no varía según criticidad del activo
- No hay trazabilidad entre riesgo asumido y decisión documentada
- El plan es insostenible operativa o económicamente en el mediano plazo
- El equipo de integridad no puede defender las decisiones ante la gerencia con base técnica cuantificada

Si identificas **tres o más** de estas señales en tu planta: la transición no es opcional, es necesaria.

De frecuencia fija a riesgo: antes y después

Plan Determinístico

- Inspección masiva sin diferenciación
- Foco disperso en todos los componentes
- Recursos distribuidos uniformemente
- Riesgo financiero invisible y no gestionado
- Técnicas especializadas: aplicadas sin jerarquía
- Trazabilidad: sin vínculo activo-riesgo-decisión

Plan RBI 2024-2034

- 105 componentes prioridad alta → mitigación inmediata
- 77 componentes riesgo bajo → monitoreo a largo plazo
- Recursos concentrados donde el riesgo es real
- Riesgo medio (656): monitoreo periódico; no se intensifica sin base técnica
- Técnicas especializadas: asignadas por mecanismo de deterioro
- Trazabilidad: mecanismo, POF, COF, estrategia y fecha por componente

Acciones concretas por nivel de riesgo



● Riesgo Alto — 105 componentes

Mitigación inmediata: restitución de recubrimientos e inspección intensificada sin demora.



● Riesgo Medio — 656 componentes

Monitoreo de condición sin intensificar. POF baja pero con efectos de consecuencias considerables seguimiento programado.



● Riesgo Bajo — 77 componentes

Monitoreo de largo plazo. Reevaluación formal cada 5 años.

Reducción del 38% en gastos de inspección manteniendo cobertura de riesgo total.

Caso de Negocio

Trade-offs asumidos y lecciones transferibles

23

Caso de Negocio

Los números confirmaron el caso de negocio

\$2.1M

Ahorro proyectado
En 10 años de operación

38%

Reducción en inspección
Estimada en gastos de inspección

105

Riesgo alto
Componentes identificados, antes sin
cuantificación

95%

Vida remanente
Activos con vida remanente >10 años

1.272

Componentes
Con estrategia y fechas
de inspección 2024–2034

Un solo evento de pérdida de contención en los activos de mayor riesgo (consecuencias promedio: **USD 18,3M**) supera ampliamente el costo total del estudio RBI.

24

Un modelo de calidad no ignora los trade-offs: los documenta

Decisión asumida	Criterio técnico	Riesgo residual
No intensificar 656 componentes con COF >USD 10M	POF muy baja (3,06E-05/año): deterioro históricamente controlado	Si cambian condiciones operacionales, el modelo debe actualizarse
Líneas <2" sin análisis individual	Análisis individual no factible ni diferenciador en ese volumen	Deterioro diferencial en ramales pequeños no se captura
Mercurio excluido del modelo de consecuencias tóxicas	Concentración: 1,8% del umbral de referencia	Monitoreo de concentración justifica la exclusión
Asunciones conservadoras donde faltan datos	Reduce incertidumbre a costa de ligera sobreestimación de POF	Se actualiza con cada nueva inspección

"El riesgo residual aceptado explícitamente es gestionable. El riesgo desconocido no lo es."

CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
COLOMBIA 3^a
EDICIÓN

Lecciones Aprendidas

Técnicas, de gestión y liderazgo



Lecciones Aprendidas



Lo que este caso confirma sobre cómo hacer que el RBI funcione

Conocer el mecanismo dominante lo cambia todo

Identificar si el deterioro es externo o interno define toda la estrategia de inspección. Sin este diagnóstico, el modelo pierde precisión.

Las asunciones documentadas son rigor, no debilidad

Las asunciones formalmente registradas permiten defender el plan ante cualquier auditoría técnica o regulatoria con total trazabilidad.

Calidad del dato de entrada

La confiabilidad del modelo RBI es directamente proporcional a la calidad del historial de espesores y datos de proceso disponibles.



27



Lecciones Aprendidas



Lo que este caso enseña sobre cómo impulsar el cambio

El argumento técnico solo no alcanza

Lo que desbloqueó el proyecto fue traducir el riesgo técnico a impacto financiero, retorno de inversión y alineación estratégica. Construir el caso de negocio es una competencia técnica, no solo gerencial.

El contexto organizacional es un catalizador

Identificar y aprovechar las ventanas de oportunidad organizacional es parte de la estrategia técnica.

Un RBI vivo vale más que un RBI puntual.

La plataforma debe quedar configurada para que el equipo actualice el modelo con cada inspección y retroalimente el riesgo real.



28



Lecciones Aprendidas



Un Cambio Cultural, No Solo Metodológico

No sobreponer proyectos que comparten datos base

Si se necesita actualizar la taxonomía o los planos, no hacer coincidir ese proceso con el estudio RBI.

Aplicabilidad transversal: El patrón de fondo es aplicable a Petroquímica · Fertilizantes · Alimentos · Farmacéutica · Es decir, cualquier planta expuesta a fluidos agresivos y mecanismos de deterioro activos.

El RBI no es simplemente una herramienta de cálculo, es una transformación en la forma de gestionar equipos estáticos.

Implementación de RBI bajo metodología ágil: El uso de iteraciones cortas con los especialistas permitió corregir criterios de asunción en tiempo real. Esto generó ganancias tempranas y valor operativo sin requerir la finalización del análisis completo.



29



Conclusiones

30

Conclusiones



De frecuencia fija a riesgo: lo que este caso nos deja

- **El plan determinístico puede cumplir normas y haber perdido validez**

Las señales de alerta son identificables antes de que el problema se vuelva inmanejable.

- **La transición comienza con el diagnóstico honesto**

No con la metodología. Comienza con cuantificar qué ya no está funcionando en términos que la organización pueda procesar.

- **La información incompleta es una condición gestionable**

La gestión formal de asunciones convierte la incertidumbre en una variable gestionable, no en una excusa para no decidir.

- **El caso de negocio es parte del argumento técnico**

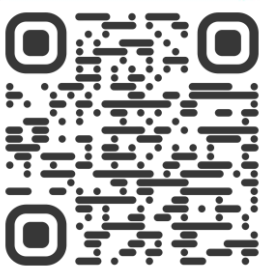
Un equipo de integridad que no puede traducir el riesgo técnico a impacto financiero tiene una competencia incompleta.

- **El modelo más valioso es el que el equipo puede mantener vivo**

No el más preciso en el momento inicial, sino el que se actualiza con datos reales y se puede defender ante cualquier interlocutor.



31

SESIÓN 28
**ESCANEA EL
CÓDIGO QR**

**RESPONDE UNA
BREVE ENCUESTA**

**CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
COLOMBIA**
**3ª
EDICIÓN**

¡GRACIAS!

Pablo Martínez

pmartinez@reliabytics.com

32