

Análisis de Mecanismos de Daño y RBI en Planta de Biodiesel

Autores: Esteban Rubertis, Bernardo Elosegui, German Azzara.

Empresa: GIE GROUP

Sinopsis

Día a día se vuelve más importante la utilización de energías provenientes de fuentes renovables. Una de éstas es la obtención de Diesel a partir de lípidos naturales como aceites vegetales, lo que se denomina BIODIESEL.

Este tipo de proceso difiere respecto de la refinación tradicional de petróleo, por lo que del mismo modo difiere el tipo de equipamiento utilizado, los tipos de mecanismos de daños activos, la forma de identificarlos y cuantificarlos. Es por esto por lo que resulta necesario adaptar las herramientas y tecnologías de evaluación de integridad mecánica ya conocidas para implementarlas en estos nuevos procesos.

El presente proyecto desarrolla la implementación de un análisis de Inspección Basado en Riesgo (RBI, por sus siglas en inglés), siguiendo lineamientos de API 580 y API 581, en una planta de Biodiesel, compuesta por las diferentes líneas de extracción de aceite, plantas de BIO y patio de tanques con capacidades anuales del orden de 500.000 toneladas. [Las Instalaciones procesan 2800Tn/día de Aceite y 600.000Tn/año de BioDiesel.](#)

El análisis realizado contiene las siguientes etapas:

- Relevamiento y análisis de Información
- Análisis de Mecanismos de Daño
- Análisis de Riesgo
- Confección de Planes de Inspección basados en Riesgo

El principal desafío fue realizar el análisis de mecanismos de daños en componentes y fluidos de proceso diferentes de los tradicionales, como ser, líneas de PRFV, cintas transportadoras, fluidos tales como: aceite de soja, ácidos cítricos, hidróxido de sodio, glicerina, etc. para lo cual se utilizaron las normativas API 571, API 581 y diversa bibliografía específica.

Del mismo modo se adaptaron los procesos de trabajo para calcular el riesgo de cada equipamiento y diseñar planes de inspección con actividades, de ensayos no destructivos, efectivas para la identificación de mecanismos de daños potencialmente activos para este tipo de instalación. [Con el proceso implementado, se adicionaron técnicas de inspección en función de los mecanismos de daño potencialmente activos.](#)

[La implementación de una plataforma digital de metodología RBI, \(en este caso a través del Software Tzolkin\), permitió integrar todo el análisis realizado, la trazabilidad de las inspecciones planificadas y los futuros reanálisis a realizar; de forma de gestionar la integridad mecánica de los equipamientos de acuerdo con las mejores prácticas de la Industria 4.0.](#)

Introducción

La Inspección Basada en Riesgo, de ahora en más RBI —Risk-Based Inspection— es una metodología que utiliza el concepto de riesgo para el desarrollo de un Plan de Inspección efectivo. La técnica provee las bases para identificar, analizar y gestionar el riesgo al tomar decisiones sobre la frecuencia de inspección, nivel de detalle y tipos de Ensayos No Destructivos (END). De esta forma, es posible reducir la probabilidad de fuga de fluido procesado a través de un correcto aprovechamiento de recursos, por lo cual se considera un aumento de confiabilidad operacional de equipos estáticos, y aumento de seguridad de operación de la instalación.

El análisis RBI permite una mejor gestión de los recursos de inspección y optimizar los planes de mantenimiento para proveer un alto nivel de alcance y conocimiento sobre los ítems de alto riesgo y un esfuerzo adecuado sobre el equipamiento de bajo riesgo.

El método define el riesgo de cada ítem como la combinación de dos términos independientes: la consecuencia de falla y la probabilidad de falla, las cuales son combinadas para producir una estimación del riesgo.

El incremento del nivel de inspección disminuye la expectativa de riesgo a través de una reducción en la probabilidad de falla por la acción de medidas correctivas y preventivas realizadas luego de que los resultados de las actividades de inspección hayan determinado equipos o tuberías con presencia de anomalías que puedan poner en riesgo su disponibilidad. Por otro lado, la inspección no modifica las consecuencias de una falla, simplemente éstas podrían verse disminuidas por el uso adecuado de Sistemas de Detección, Aislación, Mitigación y de un Sistema de Respuesta ante una Emergencia presentes en las instalaciones. Las mejoras en cuanto al cambio en el diseño, incorporación de nueva tecnología o sistemas adicionales, u otro tipo de acciones correctivas, permitirán reducir la magnitud de las consecuencias de falla estimadas en el Análisis RBI.

Es importante destacar que cualquier cambio en las condiciones de operación o variables de proceso clave (aumento o disminución de pH, variación de composición de fluido transportado, modificaciones en diseño de instalación, etc.), pueden impactar el análisis y requerir una reevaluación. Se deben identificar los cambios o datos adicionales que dispararán la necesidad de reanálisis, como ser: programas de gestión del cambio, modificación de las condiciones de operación, condiciones de operación extraordinarias, información actualizada, hallazgos de la inspección, etc.

La publicación API RP 580 define **tres enfoques para realizar el** análisis de riesgo, los cuales incrementan su complejidad a medida que se emplean niveles de análisis superiores:

Nivel 1: Cualitativo

Nivel 2: Semicuantitativo

Nivel 3: Cuantitativo

En la Figura 1 se muestra el proceso de implementación de la técnica de análisis de riesgo. El ciclo comienza con la recolección de datos y, luego de la implementación de acciones de mitigación y reevaluación, el análisis debe repetirse.

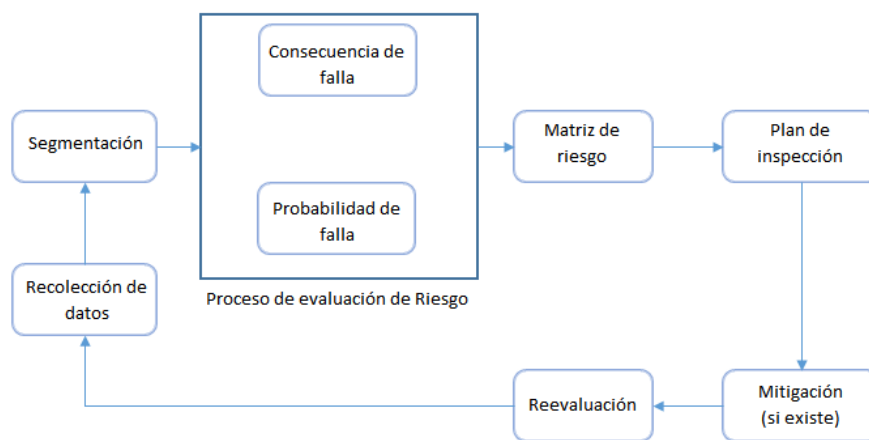


Figura 1. Diagrama de implementación de RBI (API 580)

El **Análisis** Cualitativo tiene como objetivo realizar de manera rápida, una jerarquización en base al riesgo de aquellos objetos sometidos al análisis. Aquellos segmentos que resultan de mayor riesgo se someten a un análisis de mayor profundidad, por lo que pasan al siguiente nivel Semicuantitativo **ó Cuantitativo**. Este último, requiere de mayores recursos y nivel de información, ya que es un análisis de mayor intensidad y detalle que permite obtener planes particulares para los componentes más críticos de la instalación.

En resumen, los pasos para la implementación de un sistema de inspección basado en riesgo de acuerdo con las mejores prácticas de la industria son:

1. Recolección de datos e integración de la información
2. Segmentación
3. Análisis de posibles mecanismos de daño activos
4. Análisis de Riesgo
5. Elaboración de Planes de Inspección

6. Definición de actividades para la mitigación de riesgo
7. Reevaluación

El presente trabajo se llevó adelante durante los primeros meses de 2021, y se [contemplaron](#) para el análisis los siguientes equipos:

Tabla 1. Resumen de equipos, tanques y tuberías.

Equipos, Tanques y Tuberías relevados			
Recipiente a Presión	Intercambiador de Calor	Tanque de almacenamiento	Grupo de Tuberías
168	84	52	194

Las tareas desarrolladas sobre los activos mencionados en la Tabla 1 fueron las siguientes:

- Relevamiento de información
- Análisis de información
- Segmentación de las instalaciones y análisis de mecanismos de daño
- Análisis de riesgo RBI cualitativo
- Análisis de riesgo RBI cuantitativo
- Definición de Estrategias de Inspección

Desarrollo

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se realizó un relevamiento de información en campo de equipos (recipientes a presión, intercambiadores de calor y tanques de almacenamiento) y sistemas de tuberías existentes en la planta del operador.

Para cada uno de los activos (equipos y sistemas de tuberías), en caso de tener acceso, se obtuvieron dimensiones, presiones y temperaturas tanto de trabajo como de diseño y su respectiva fecha de construcción. [Adicionalmente se relevó el estado de los activos y sus alrededores, maniobras de Operación e información características de los fluidos.](#)

Además, se realizó un relevamiento fotográfico con fines de identificación de los diferentes equipos existentes en la planta. [Este relevamiento fue empleado en la etapa de confección de Planes de Inspección para la identificación de Zonas Críticas de Inspección \(CML\).](#)



Figura 2 y 3 (Arriba) y Figura 4 y 5 (Abajo). Equipos analizados

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

A partir de la información recolectada tanto en campo como con la suministrado por el operador, se procedió a realizar una base de datos en función del tipo de activo (recipiente a presión, intercambiador de calor, tanque de almacenamiento o tubería) para el complejo.

Dicha base de datos contiene la información mínima necesaria para poder ingresar en el software de RBI (Tzolkin) tanto los equipos como las tuberías con el fin de poder comenzar con el análisis de riesgo basado en inspección. La misma fue confeccionada en función de la información recolectada, flujos de proceso, pantallas de control de proceso (SCADA) y manual de operación.

Durante esta etapa, se identificaron incongruencias:

- Equipos sin placas de Identificación
- Activos sin información de diseño
- Planos P&ID y Diagramas PFD desactualizados
- Piping Class obsoleto

En base a estas situaciones y a la gran cantidad de equipos en estas condiciones, se optó por completar los campos faltantes en base a criterios [conservativos consensuados con el Operador](#). Adicionalmente, se generaron campañas para actualizar la base de datos:

- Campañas de Identificación de Materiales (PMI)
- Ensayos de Ultrasonido Avanzado para la caracterización de Eficiencia de Junta
- Generación de Documentación (Memorias de Cálculo, Análisis de Equipos con Información Mínima API STD Punto 7.7)
- Actualización de P&ID, Diagramas PFD y Piping Class.
- Solicitud de formularios U-1A a National Board.

ANÁLISIS DE MECANISMOS DE DAÑO Y SEGMENTACIÓN DE LAS INSTALACIONES.

Un mecanismo de daño es por definición toda fuente potencial de deterioro sobre los activos, que pueda derivar en la pérdida de contención del fluido transportado/procesado. El principal peligro asociado a un equipo estático que contiene un fluido inflamable a presión atmosférica o mayor es que se produzca una falla y que se genere la pérdida de dicho fluido pudiendo generar un evento inflamable.

La identificación de los mecanismos de daño activos en los diferentes lazos de corrosión que componen al activo permite en primer lugar verificar que las actividades de monitoreo y mitigación que se aplican son necesarias y suficientes. Y en segundo, definir las morfologías y zonas críticas del sistema donde preferencialmente se podría detectar el daño.

Para dicha identificación, es clave identificar ciertas variables que hacen a que un mecanismo pueda encontrarse potencialmente activo. A continuación, se describen las fuentes típicas verificadas:

- Condiciones de operación.
- Análisis de fluidos.
- Materiales de construcción.
- Condiciones particulares de la planta.
- Morfologías típicas de degradación (Adelgazamiento Generalizado, Adelgazamiento Localizado, Fisuras (Cracking), Daño Metalúrgico).
- Mecanismos de daño típicos de la industria.

Como resultado del análisis de Proceso realizado, se contó con la presencia de 86 mezclas, donde los fluidos principales fueron:

- Soja

- Hexano
- Aceite Mineral
- Agua
- Mucilagos
- Aceite de Soja
- Lecitina de Soja
- Peróxido de hidrógeno
- Ácido fosfórico
- Metil-éster
- Metanol
- Glicerina
- Biodiesel
- Ácido clorhídrico
- Vapores de Proceso

El desafío con la identificación de mecanismos de daño potencialmente activos fue la investigación de Procesos similares y antecedentes de fallas con el objetivo de vincularlos con los modelos de mecanismos de daños habitualmente contemplados en la metodología RBI.

Luego de verificar todos los ítems anteriormente listados, se [consideraron](#) los siguientes PMDD (Potencial Mecanismo de Daño):

- Corrosión atmosférica.
- Adelgazamiento interno.
- Corrosión microbiológica.
- Corrosión bajo aislación (CBA).
- Corrosión bajo suelos.
- Fatiga mecánica.
- Fatiga térmica.
- Erosión.
- Corrosión por CO₂.
- Corrosión por agua de enfriamiento.
- Fisuración inducida por el medio (SCC).
- Corrosión galvánica.

Para la identificación de los mecanismos de daño se aplicaron las normativas API 571, 570, 574, 510, 572, 653, ASME PCC 3, etc.

Una vez identificados los PMDD, se continuó con la segmentación de las Instalaciones.

La segmentación del activo es un paso clave para la implementación de un sistema de Inspección Basado en Riesgo. La estructura generada impacta de forma directa al volumen de documentación y registros generados en las diferentes etapas de la implementación.

La facilidad a segmentar debe subdividirse en diversos sistemas, cada uno con sus fluidos característicos, en base a la operación actual de la planta. Los Sistemas definidos, representan un método práctico para agrupar equipos y tuberías que se encuentran sometidos a mecanismos de daño similares. Para cada sistema se analizan las condiciones particulares que los diferencian y se le atribuyen mecanismos de daño que probablemente se encuentren presentes.

Dicha segmentación se realiza en base a:

- Fluido
- Condiciones de Operación (fase, presión y temperatura)
- Piping Class
- Mecanismos de daño

La segmentación de esta planta se realizó confeccionando un esquemático de proceso con base en el manual de operación de esta. El desarrollo de esta segmentación fue consensuada y avalada por personal del cliente.

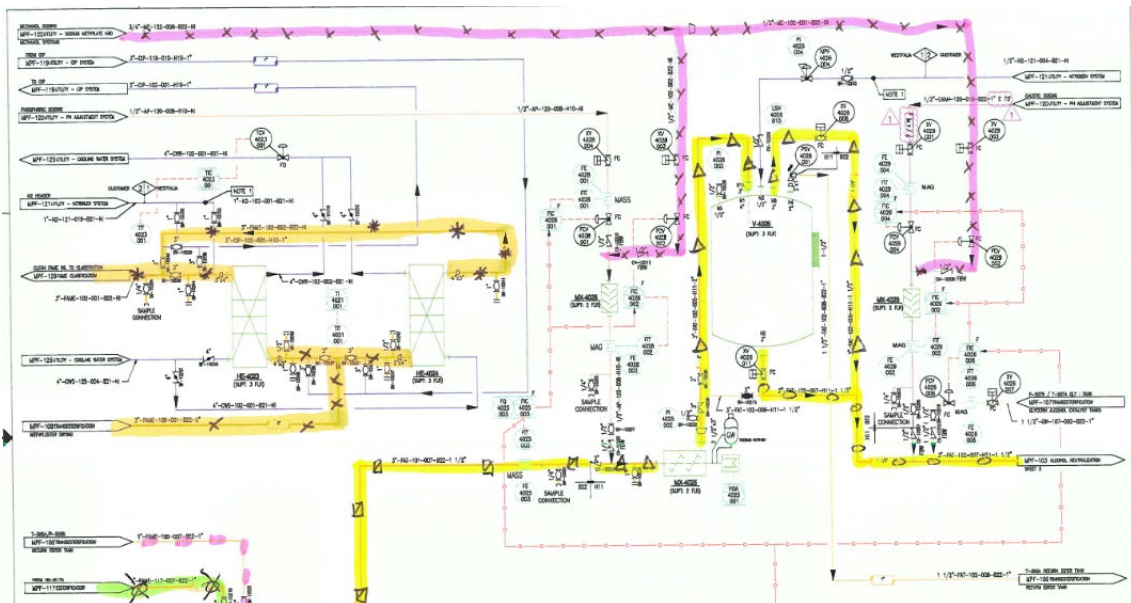


Figura 6. Segmentación

Como resultado del Proceso de Segmentación, se identificaron 194 Lazos de Corrosión distribuidos en las 4 Plantas que conforman el Complejo.

ANÁLISIS RBI CUALITATIVO DE RIESGO.

El enfoque cualitativo se emplea para estimar el riesgo de un conjunto de ítems y comparar su ubicación relativa dentro de una matriz de riesgo. Los resultados obtenidos en esta etapa proveen una base para la priorización de estrategias de gestión de integridad mecánica.

A falta de un análisis de criticidad propio del cliente, se definió realizar un primer análisis cualitativo desarrollado por GIE en la herramienta TZOLKIN 2.0 en conjunto con el cliente, tomando como base factores de la norma API 581 Ed. 2000 y factores personalizados que tuvieran en cuanta particularidades del proceso y detalles de operación en cada uno de los términos que componen al Riesgo, probabilidad y consecuencia.

Es así, que se establecieron factores de tipo: Medio Ambiente, Seguridad, Proceso, respuesta a falla, Historial de Inspecciones, Mantenimiento, Diseño, entre otros.

En base a estos factores, se estableció una escala de puntajes que permitieran determinar las categorías de la probabilidad (1,2,3,4 ó 5) y de consecuencia (A, B, C, D ó E).

En base a la combinación de las categorías calculadas para cada activo, se pudo determinarse el nivel de riesgo asociado, partiendo de un riesgo bajo (zona verde), hasta llegar a uno alto (zona roja). A continuación, se presenta la matriz de riesgo correspondiente al análisis RBI cualitativo de los activos del operador. Además, se muestra la distribución del nivel de riesgo de los activos:

5	-	-	-	-	-
4	24	21	25	4	-
3	138	99	26	3	2
2	39	44	20	-	-
1	1	2	7	-	-
	A	B	C	D	E

Figura 7. Matriz de Riesgo Cualitativa

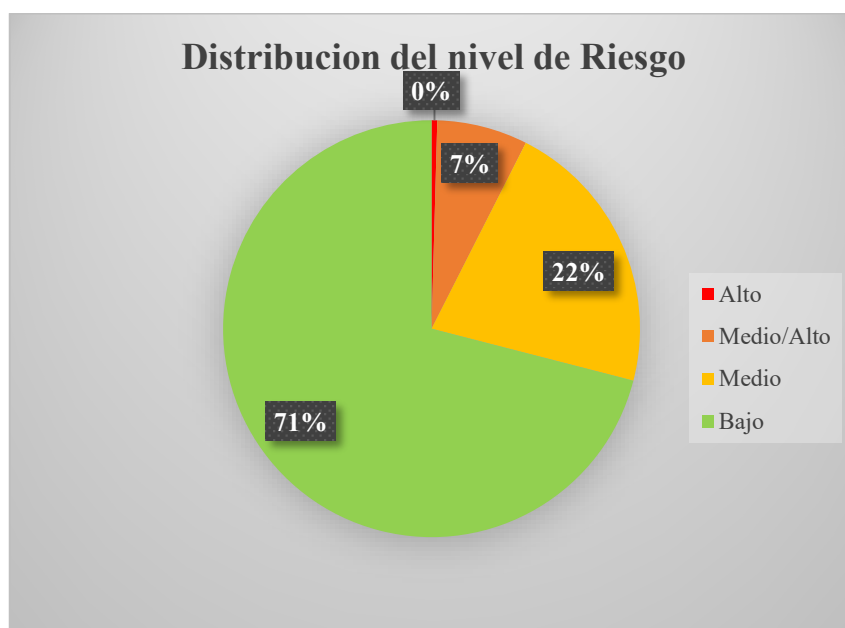


Figura 8. Distribución de Riesgo.

En la Tabla 1 se presenta a modo de resumen los resultados obtenidos para la planta analizada:

Tabla 1. Resumen de nivel de riesgo

RIESGO/PLANTA	ACTIVOS	
	CANTIDAD	[%]
Alto	2	0,44
Medio/Alto	32	7,03
Medio	98	21,54
Bajo	323	70,99

En base a estos resultados, las estrategias adoptadas para continuar fueron:

- En activos de riesgo Medio/alto y Alto, se profundiza el análisis mediante la ejecución de un Análisis Cuantitativo API RP 581.
- En activos de riesgo Medio se mantuvieron frecuencias de Inspección estáticas de acuerdo con API 510/570 y Requerimientos Gubernamentales. Adicionalmente, actualización de planes de Inspección con la adición y/o modificación de técnicas de inspección y sus respectivos alcances de modo de cubrir los PMDD,
- En activos de riesgo Bajo, se mantuvieron frecuencias de Inspección estáticas de acuerdo con API 510/570 y Requerimientos Gubernamentales. Adicionalmente, generación de Planes de Inspección genéricos que cubran los PMDD.

ANÁLISIS RBI CUANTITATIVO DE RIESGO.

A partir de los resultados obtenidos de nivel de riesgo en los activos, mediante el análisis RBI cualitativo, se procede a realizar el análisis RBI cuantitativo sobre los activos cuyo nivel de riesgo es Medio/Alto y Alto, respectivamente.

Con la información obtenida a partir de este análisis se logran identificar los parámetros que afectan la evolución de cada mecanismo de corrosión activo y que pudo ser evaluado según las técnicas de ensayos no destructivos (END) ejecutadas. Además, permite establecer, una vez calculados todos los factores de daño aplicables, el nivel de daño actual y la tendencia de evolución en base a los espesores actuales y las velocidades de corrosión determinadas.

Las inspecciones se clasifican en un ranking según su efectividad para detectar los mecanismos de daño activos y predecir correctamente la velocidad de daño. La efectividad de cada técnica de inspección depende de las características del mecanismo de daño.

Mediante información recolectada en campo y aquella proporcionada por el operador, se pudo estimar el grado de daño por adelgazamiento interno y externo de los componentes de los diferentes activos analizados en el presente estudio. De esta forma, el **cálculo de probabilidad** se basa en la determinación de **factores de daño** para estos tipos de mecanismos de daño.

Para los casos de *corrosión por agua de enfriamiento* y *corrosión por dióxido de carbono* la metodología API RP 581 no presenta un método de cálculo. Por otro lado, la *corrosión por erosión* se considera dentro del cálculo de *adelgazamiento interno*.

Para llevar a cabo el análisis de cada factor de daño y determinar el nivel de daño actual se deben considerar parámetros particulares para cada tipo de factor calculado.

Por otro lado, se realiza el **análisis de consecuencia** para determinar el **riesgo actualizado** con la información recolectada en la inspección. Este análisis se basa en el cálculo de cantidad de fluido que puede llegar a fugar al medio ambiente en una determinada cantidad de tiempo, la inflamabilidad del fluido y los medios de detección, aislación y mitigación que se encuentran presentes en las instalaciones y en el entorno del activo.

A continuación, se presenta la matriz de riesgo que resulta del análisis de riesgo RBI cuantitativo, llevado a cabo bajo los lineamientos de la norma API RP 581, correspondientes a los equipos cuyo riesgo, según el análisis RBI cualitativo realizado, resultó Medio/Alto y Alto:

5	-	2	4	1	1
4	-	-	2	-	-
3	-	-	-	-	-
2	-	-	-	5	-
1	-	-	6	13	-
	A	B	C	D	E

Figura 9. Matriz de Riesgo cuantitativa Planta de Biodiesel

DETERMINACIÓN DE ESTRATEGIAS DE INSPECCIÓN

Se determinaron las fechas de próxima inspección en base a la evolución del factor de daño futuro en aquellos activos a los que se les efectuó el análisis RBI cuantitativo, y al nivel de riesgo en el resto de los activos que se analizaron por medio del análisis RBI cualitativo. Además, para todos los activos se tuvieron en cuenta las indicaciones relevadas en la etapa de Recolección de Información y las recomendaciones de API 510 para recipientes sometidos a presión, API 653 para tanques de almacenamiento y API 570 para sistemas de tuberías.

Se presentan a modo de ejemplo, un gráfico que muestra la distribución de las cantidades de Inspecciones a realizar en función del tipo de equipo en los próximos años para una de las Plantas analizadas.

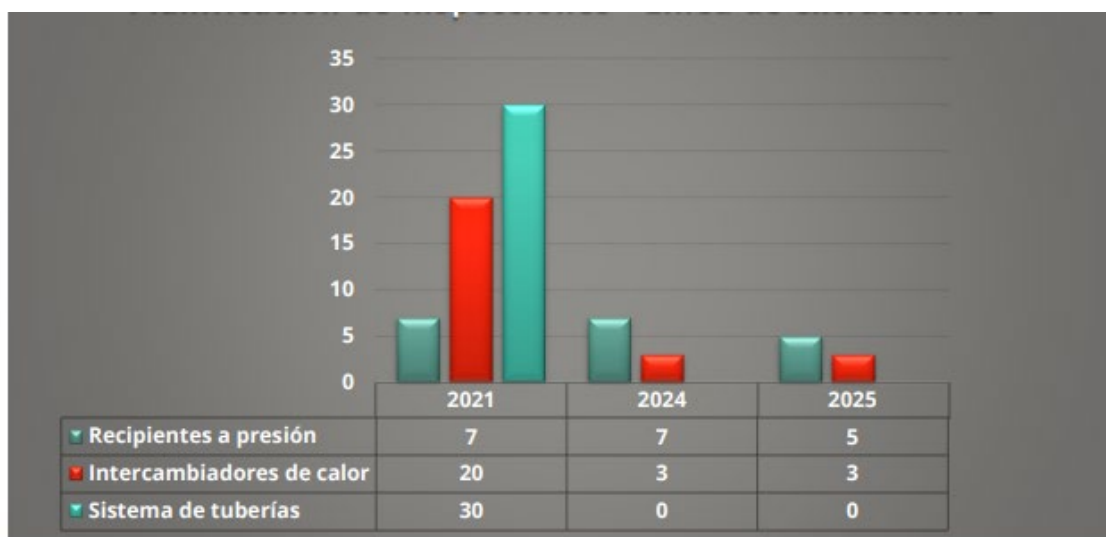


Figura 13 - Resultado planificación de inspecciones por año para una de las Plantas

Como resultado de la Planificación de actividades, las estrategias a implementar fueron:

- En primera medida, se incluyeron nuevas técnicas de inspección o incremento de alcances con el objetivo de reducir los niveles de Probabilidad resultantes en los Análisis Cualitativos o Cuantitativos
- En aquellos activos que no cuentan con un antecedente de Inspección, se recomendó ejecutar la inspección durante el próximo año.

- Se recomendó ejecutar las inspecciones internas en un plazo no mayor a cuatro (4) años en aquellos recipientes a presión donde exista la posibilidad de ingresar a los mismos, ya sea por medio de una boca de hombre o por medio de boroscopia (ajustados a la planificación de Paros de Planta).
- Los tanques de almacenamiento en muchos casos no presentan registros de inspección o la última fue realizada en un periodo mayor a cinco años, por lo cual se estableció que la fecha de próxima inspección sea en el **próximo año**. Por otro lado, para los tanques de almacenamiento de Biodiesel se estableció un periodo máximo de dos años entre inspecciones. Además, se recomienda que en aquellos casos que sea posible, se realice una inspección interna en un plazo no mayor a cuatro (4) años para evaluar el estado del suelo en los tanques.
- Para los activos cuyo material de construcción es PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio), se estableció una inspección en el **próximo año** que incluye una prueba hidráulica con una duración de como mínimo una hora y una inspección tanto externa como interna antes y después de realizada la prueba.
- El objetivo de esto es generar la información necesaria para lograr mejorar la gestión de los recursos de inspección y optimizar los planes de mantenimiento de manera de proveer un alto nivel de alcance y conocimiento sobre los ítems de alto riesgo y un esfuerzo adecuado sobre el equipamiento de bajo riesgo.
- Para cada uno de los activos analizados, se definieron los CML en los cuales se ejecutarán los diferentes técnicas de inspección y alcances, y sobre los cuales se realizará la actualización del Análisis de Riesgo (cálculos de velocidad de corrosión y Vida remanente, Análisis de Probabilidad).

PLANES DE INSPECCION

Los Planes de Inspección fueron gestionados a través de la herramienta TZOLKIN, la cual permite la particularización de actividades y alcances de Inspección. Cada uno de los planes de Inspección contemplan los requerimientos relacionados a:

- Fecha de Inspección
- Retiros de aislación
- Armado de Andamios/Acceso
- Tipo de Inspección (Externa/Interna)
- Actividad (Técnica de Inspección)
- Alcance
- Zonas Críticas
- Vinculación a Isométricos de Inspección y Esquemas

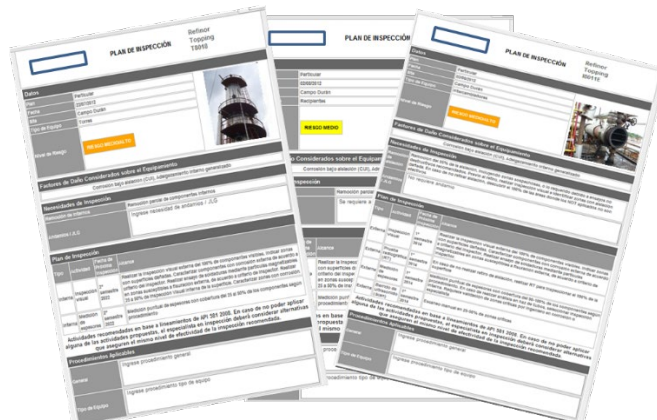


Figura 14. Planes de inspección

Conclusiones

Se demostró la versatilidad de la metodología RBI para aplicar como herramienta de gestión de integridad mecánica en procesos de industria alimenticia (obtención de aceite de soja) y Biocombustibles (Biodiesel a partir de aceite de soja).

Se logró realizar la segmentación y determinación de mecanismos de daño activos y el riesgo cualitativo y cuantitativo asociado para 359 recipientes y 96 sistemas de tuberías.

Se redistribuyeron los esfuerzos, permitiendo identificar los equipos de mayor riesgo y canalizar recursos sobre actividades de inspección efectivas.

Se lograron disminuir los tiempos de inspección en parada de planta un 20% al enfocar los planes de inspección sobre los equipos de mayor riesgo y descartar ó reemplazar actividades que se pueden realizar con el equipo en servicio para los activos de menor riesgo.

Se logró realizar la planificación de inspecciones según la prioridad respecto del riesgo de cada equipamiento programando sus actividades en un período de 4 años.

Se pudieron planificar inspecciones on stream durante el resto del año, permitiendo disminuir la incertidumbre de actividad de los mecanismos de daño sin necesidad de sacar de servicio los equipos, seleccionando tecnologías de inspección que permitieran cumplir con este requerimiento.

Se redujeron costos de inspección en un 15%, al disminuir la cantidad de actividades de inspección interna

La implementación de una plataforma digital de metodología RBI, (en este caso a través del Software Tzolkin), permitió integrar todo el análisis realizado, el seguimiento en el tiempo de las inspecciones planificadas y los futuros reanálisis a realizar; de forma de gestionar la integridad mecánica de los equipamientos de acuerdo con las mejores prácticas de la industria 4.0.