

**MANTENIMIENTO BASADO EN RBI (Risk Based Inspection) PARA LA  
PLANTA N°2 DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO EN LA EMPRESA  
PROPILCO S.A.**

**FABIAN LOBO BARRERA  
CESAR MARQUEZ CASTELLAR  
LUIS ALBERTO ROMERO SIERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2013**

**MANTENIMIENTO BASADO EN RBI (Risk Based Inspection) PARA LA  
PLANTA N°2 DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO EN LA EMPRESA  
PROPILCO S.A.**

**FABIAN LOBO BARRERA  
CESAR MARQUEZ CASTELLAR  
LUIS ALBERTO ROMERO SIERRA**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Javier Barrios Verhelst  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Los autores expresan sus agradecimientos a:**

PROPILCO S.A., quien brindó el apoyo logístico para la realización de esta monografía, en especial al Ingeniero Javier Barrios por su apoyo incondicional para el desarrollo de dicho proyecto.

Los profesionales de Propilco, quienes brindaron sus conocimientos y aportes a los temas específicos de nuestra monografía.

Grupo de técnicos de esta empresa quienes nos ayudaron e informaron cada una de sus experiencias con el tema tratado.

Los docentes de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento por cada uno de los temas transmitidos.

Todos nuestros compañeros de la Especialización por compartir el recinto y aprender de cada una de sus experiencias.

A Dios por las bendiciones que nos brinda y permitir que se cumplan nuestras metas.  
A mi esposa y mi hija por su amor y paciencia durante el tiempo que tardó esta especialización.

Al cuerpo de docentes por hacer de nosotros mejores profesionales.

**Fabián Lobo Barrera**

Primero a Dios por darme la sabiduría para la realización de mis metas y a mi familia por su maravillosa comprensión y paciencia. A mis padres por darnos la vida y apoyarnos en todo lo que nos hemos propuesto.

**Cesar Márquez Castellar**

A Dios por permitirme dar este gran paso en mi carrera profesional.

A mi familia por todo el apoyo recibido durante el transcurso de esta nueva etapa en mi proyecto de vida.

**Luis Romero Sierra**

## CONTENIDO

|  | Pag.      |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>20</b> |
| <b>1. DESCRIPCIÓN PROPILCO S.A.</b>                          | <b>21</b> |
| 1.1. GENERALIDADES   | 21        |
| 1.2. Proceso Productivo                                      | 23        |
| 1.2.1. Proceso de Purificación                               | 25        |
| 1.2.2. Proceso de Reacción 1                                 | 27        |
| 1.2.3. Proceso de Reacción 2                                 | 28        |
| 1.2.4. Proceso de Desgasificación y Peletizado               | 29        |
| 1.2.5. Proceso de Recuperación                               | 30        |
| 1.2.6. Proceso de Almacenamiento y Empaque                   | 31        |
| <b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                         | <b>32</b> |
| <b>3. OBJETIVOS</b>  | <b>33</b> |
| 3.1. General   | 33        |
| 3.2. Específicos   | 33        |
| <b>4. QUE ES RIESGO</b>                                      | <b>34</b> |
| 4.1. Definición  |           |
| 4.2. Inspección Basada en Riesgo (RBI)                       |           |
| 4.2.1. Falla en RBI  | 35        |
| 4.2.2. ¿Por qué se requiere RBI?                             | 36        |
| 4.2.3. Capacidades de la inspección basada en el riesgo      | 36        |
| 4.2.4. Medición del riesgo                                   | 37        |
| <b>5. GENERALIDADES DEL RIESGO BASADO EN INSPECCIÓN</b>      | <b>39</b> |
| 5.1. MARCO TEÓRICO   | 39        |
| <b>6. MARCO NORMATIVO SEGÚN NORMAS API-RB580 Y API-RP581</b> | <b>41</b> |
| 6.1. Elementos claves de un programa RBI                     | 44        |
| 6.2. Beneficios y limitaciones de RBI                        | 44        |
| <b>7. DEFINICIONES</b>                                       | <b>46</b> |
| <b>8. TIPOS DE EVALUACIÓN RBI</b>                            | <b>51</b> |
| 8.1. Enfoque Cualitativo                                     | 51        |
| 8.2. Enfoque Cuantitativo                                    | 52        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>8.3. Enfoque Semicuantitativo</b>   | <b>53</b> |
| <b>9. EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE RIESGO (QRA)</b>                                | <b>53</b> |
| <b>10. UTILIZACIÓN DE RBI PARA ESTABLECER PLANES DE INSPECCIÓN Y PRIORIDADES</b> | <b>55</b> |
| <b>11. ANÁLISIS DE RIESGOS DEL PROCESO</b>                                       | <b>55</b> |
| <b>12. PLANEAMIENTO DE LA EVALUACIÓN RBI</b>                                     | <b>56</b> |
| 12.1. Establecer objetivos y metas de evaluación RBI                             | 57        |
| 12.2. Entender los riesgos   | 57        |
| 12.3. Definir criterios de riesgo  | 57        |
| 12.4. Monitoreado de equipos   | 57        |
| 12.5. Recolección e información de datos para la evaluación RBI                  | 58        |
| 12.5.1. Datos necesarios para RBI  | 58        |
| <b>13. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA</b>  | <b>60</b> |
| 13.1. Objetivos  | 60        |
| 13.2. Descripción General  | 60        |
| 13.3. Lazos de corrosión   | 61        |
| 13.4. Análisis de lazos de corrosión   | 63        |
| 13.5. Matriz de riesgos  | 64        |
| 13.6. Diagramas lógicos de criticidad para tuberías                              | 65        |
| 13.7. Diagramas lógicos de criticidad para los equipos                           | 65        |
| <b>14. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS</b>   | <b>66</b> |
| 14.1. Resultado de valoración RBI por lazos de corrosión                         | 66        |
| 14.2. Valoración RBI por equipos   | 67        |
| <b>15. ACCIONES DE MITIGACIÓN PARA TUBERÍAS</b>                                  | <b>68</b> |
| <b>16. ACCIONES DE MITIGACIÓN PARA EQUIPOS</b>                                   | <b>69</b> |
| <b>17. CONCLUSIONES</b>  | <b>70</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | <b>71</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>72</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| 1. FIGURA 1. Ubicación geográfica de la planta Propilco S.A. | 22   |
| 2. FIGURA 2. Planta N° 2 de Producción de Propileno          | 23   |
| 3. FIGURA 3. Proceso de Producción planta Propilco S.A.      | 24   |
| 4. FIGURA 4. Tanques de Almacenamiento                       | 25   |
| 5. FIGURA 5. Proceso de Purificación                         | 26   |
| 6. FIGURA 6. Proceso Reacción 1                              | 27   |
| 7. FIGURA 7. Proceso Reacción 2                              | 28   |
| 8. FIGURA 8. Proceso de Desgasificación y Peletizado         | 29   |
| 9. FIGURA 9. Proceso de Recuperación                         | 30   |
| 10.FIGURA 10. Proceso de Almacenamiento y Empaque            | 31   |
| 11.FIGURA 11. Probabilidad Vs Consecuencia                   | 37   |
| 12.FIGURA 12. Matriz de Criticidad                           | 38   |
| 13.FIGURA 13. Etapas de implementación RBI                   | 41   |
| 14.FIGURA 14. Matriz de Riesgo                               | 64   |
| 15.FIGURA 15. Valoración RBI por Lazos                       | 66   |
| 16.FIGURA 16. Valoración RBI por Equipos                     | 67   |
| 17.FIGURA 17. Valoración RBI para Tuberías                   | 68   |
| 18.FIGURA 18. Acciones de Mitigación para Equipos            | 69   |

## LISTA DE TABLAS

|                                | Pág. |
|--------------------------------|------|
| 1. TABLA 1. Lazos de Corrosión | 62   |

## LISTA DE ANEXOS

|   | <b>Pag.</b> |
|---|-------------|
| <b>1 Anexo A. Norma API-RP 580 (Riesgo Basado en Inspección)</b>            | <b>73</b>   |
| <b>2. Anexo B. Lazos de Corrosión</b>                                       | <b>74</b>   |
| <b>3. Anexo C. Diagramas Lógicos de Criticidad para Tuberías</b>            | <b>77</b>   |
| <b>4. Anexo D. Diagramas Lógicos de Criticidad para Equipos</b>             | <b>81</b>   |
| <b>5. Anexo E. Plan de Inspección y Mantenimiento de acuerdo con el RBI</b> | <b>83</b>   |

## RESUMEN

**TITULO:** MANTENIMIENTO BASADO EN RBI (Risk Based Inspection) PARA LA PLANTA N°2 DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO EN LA EMPRESA PROPILCO S.A.\*

**AUTORES:** FABIAN LOBO BARRERA, CESAR MARQUEZ CASTELLAR, LUIS ALBERTO ROMERO SIERRA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Inspección Basada en Riesgo, Matriz de Riesgos, Lazo de corrosión, Probabilidad de falla.

**CONTENIDO:** El presente trabajo está fundamentalmente desarrollado con la intención de brindar al lector los conocimientos básicos acerca de la implementación de un programa de mantenimiento basado en riesgo, para evitar, minimizar y mitigar las consecuencias de falla.

Inicialmente se mencionan algunas generalidades de la empresa Propilco S.A relacionada con los procesos de fabricación de polipropileno.

Luego se dan algunos conceptos básicos acerca del riesgo y las probabilidades de falla por su consecuencia. También se menciona el porque se requiere un RBI, qué se denomina falla en RBI, los tipos de evaluación en RBI.

Se realiza una breve descripción de la matriz de riesgos para determinar de que manera se evalúan los equipos, esto basado también en la norma API-580, la cual en conjunto con la API-581 dan las directrices acerca de los conceptos para la implementación de un RBI y las técnicas de aplicación del mismo.

Nace por la intención de la compañía Propilco S.A en establecer la metodología apropiada en base al plan de mantenimiento actual.

Se realizó la clasificación de los equipos críticos para cada proceso y se determinó los distintos mecanismos de falla, esto basado en la matriz de riesgo acorde a lo señalado en el código API-RP 580.

Así mismo se obtiene el resultado del estado actual de los equipos en el cual se menciona en que porcentaje del objeto de estudio presentan los diferentes tipos de criticidad, hallando cual de ellos se encuentran en criticidad media, alta o baja.

Por último, se propone una modificación al plan actual de mantenimiento en Propilco S.A. de acuerdo con las frecuencias de mantenimiento establecidas y los análisis realizados.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Javier Barrios, Ingeniero Electrónico.

## SUMMARY

**TITLE:** BASED MAINTENANCE RBI (Risk Based Inspection) FOR N°2 PLANT POLYPROPYLENE PRODUCTION AT COMPANY PROPILCO S.A.

**AUTHORS:** FABIAN LOBO BARRERA, CESAR MARQUEZ, LUIS ALBERTO ROMERO SIERRA\*\*

**KEYWORDS:** Risk Based Inspection, Risk Matrix, corrosion loop, Probability of failure.

**DESCRIPTION:** The present work fundamentally is developed with the intention to offer to the reader the basic knowledge about the implementation of a program of maintenance based on risk, to avoid, to diminish and to mitigate the consequences of fault.

At first, are some generalities Propilco SA processes related to manufacturing polypropylene.

Then are some basics about risk and probability of failure for its consequence. Also is mentioned why RBI is required , what is called failure RBI , the RBI assessment types .

Is a brief description of the risk matrix to determine which way the teams are evaluated , this also based on API -580 standard, which in conjunction with the API -581 guidelines are given on the concepts for implemtacion an RBI and application techniques of the same.

It is born by the intention of the company Propilco S.A. in establishing the appropriate methodology on the basis of the plan of present maintenance.

The classification of the critical equipment for each process was made and it determined the different mechanisms from fault, this based on the matrix of agreed risk to the indicated thing in code API-RP 580.

Likewise, we get the result of the current status of the equipment in which it is mentioned in the percentage of the object of study shows the different types of criticality, finding which of them are in critical medium, high or low.

Finally, a modification to the present plan of maintenance in Propilco S.A. sets out. In agreement with the frequencies of maintenance established and the made analyses.

\* Monograph

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Javier Barrios, Electronic Engineer.

## INTRODUCCIÓN

En los procesos industriales hoy día siempre existe la posibilidad de que el sistema productivo sufra una falla inesperada más aun cuándo se involucran con la operación de plantas de procesos peligrosos, la cual le ocasiona a la compañía pérdidas considerables ya sean en los activos físicos, seguridad ambiental y salud ocupacional, así como pérdidas económicas. Muchas de estas fallas surgen a raíz de un plan de mantenimiento mal diseñado o mal ejecutado; y en otros casos porque las acciones implementadas no son suficientes; de ahí nace el interrogante: ¿porqué los equipos fallan si tienen un plan de mantenimiento efectivo? Tomando el caso del presente estudio la respuesta está en la ausencia de una metodología basada en riesgo.

La metodología “RBI” (Risk based Inspection), ha sido desarrollada y publicada por el API (American Petroleum Institute) con el fin de identificar y analizar los riesgos asociados a los equipos estáticos.

El cálculo del riesgo involucra la determinación de la probabilidad de falla con las consecuencias de la falla. Esto se hace mediante el análisis de las matrices de riesgo.

La inspección como tal no reduce el riesgo, sin embargo reduce la incertidumbre, al permitir una mejor cuantificación del daño presente en el componente y así poder tomar las medidas de mitigación del daño que sean necesarias.

La finalidad de este documento es mostrar los lineamientos básicos que establece la norma API-RP 580, para definir un programa de mantenimiento en la planta N° 2 de la empresa Propilco S.A. desde una metodología del riesgo basado en inspección con el fin de no relacionarse con ningún tipo de pérdidas.

## **1. DESCRIPCIÓN DE PROPILCO S.A.**

### **1.1 GENERALIDADES**

Es una empresa 100% Colombiana con 23 años en, perteneciente al grupo empresarial Ecopetrol, dedicada a la producción y comercialización de resina de polipropileno.

En la Figura 1 se observa la planta de Propilco S.A localizada en Cartagena, ciudad ubicada al norte de Colombia sobre el Mar Caribe. La ubicación geográfica la convierte en la puerta a Sudamérica. Colombia es el único país en esta parte del continente que tiene costas sobre el océano Pacífico y Atlántico. Los puertos colombianos localizados en ambas costas, permanentemente cargan y descargan buques provenientes de todas las partes del mundo.

Actualmente Propilco S.A tiene una capacidad de producción de 950.000 TM/Año.

Su experiencia en el sector por más de 23 años le permite ofrecer un servicio especializado e integral, encaminado a entregar resina de la más alta calidad, un servicio técnico y comercial que permita optimizar sus condiciones operativas y desarrollar nuevas aplicaciones.

Tiene certificaciones en los sistemas de gestión ambiental y de seguridad, bajo las normas BASC, ISO14001, ISO9001.

**Figura 1.** Ubicación Geográfica de la planta Propilco S.A



Fuente: <http://www.propilco.com.co>

**Figura 2.** Planta N° 2 de producción de Propileno

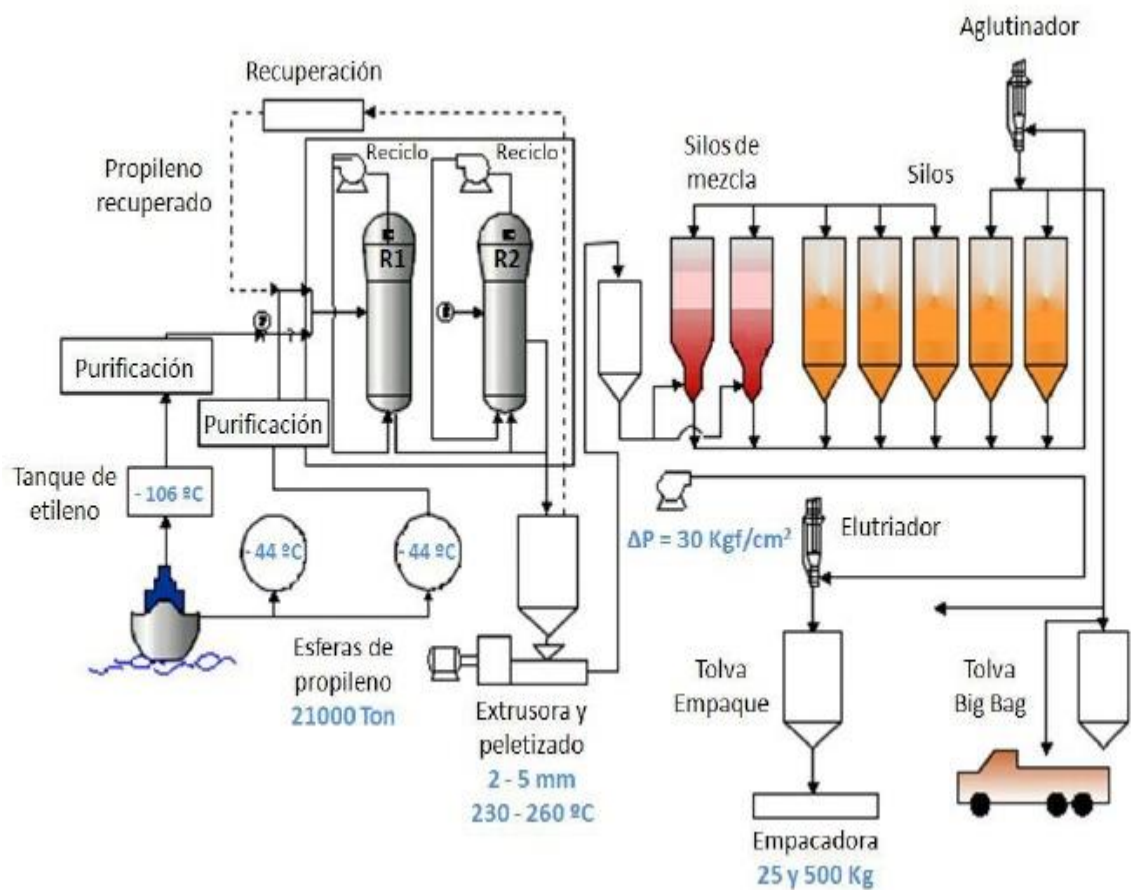


Fuente: Los Autores

## **1.2 Proceso Productivo**

En la producción de homopolímeros se emplea únicamente propileno, el cual es un hidrocarburo que llega a la planta en estado líquido y a temperatura de  $-44^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 3.** Proceso de producción Planta Propilco S.A.



Fuente: <http://www.propilco.com.co>

Este hidrocarburo arriba en buques y se bombea desde el muelle hasta la planta para ser almacenado en dos esferas con capacidad de 21000 toneladas, aisladas convenientemente para la conservación del frío.

En la producción de copolímeros random y copolímeros de impacto, además de propileno se emplea el etileno. Este hidrocarburo, al igual que el propileno, llega a la planta en buques, en estado líquido a  $-106\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se almacena en tanques cilíndricos debidamente aislado para su conservación a baja temperatura.

**Figura 4.** Tanques de Almacenamiento



Fuente: Fuente: Los Autores

El objetivo de mantenerlos a esta temperatura a fin de controlar la alta volatilidad que presentan. Posteriormente de las esferas de almacenamiento se pasan los monómeros a cargar en el proceso por un área de purificación.

**1.2.1 Proceso de Purificación** Este proceso normalmente contiene impurezas tales como agua, oxígeno, alcoholes, monóxido de carbono, etc., las cuales son nocivas para el catalizador empleado en la reacción y por ende son retiradas usando un tren de purificación especialmente diseñado para cada reactante.

En el proceso de Purificación se emplean básicamente operaciones de destilación y absorción en lecho frío.

**Figura 5.** Proceso de Purificación



Fuente: Los Autores

Los equipos de remoción de impurezas, básicamente son tanques rellenos con tamiz molecular. Cuando estos tamices se encuentran saturados de impurezas, se regeneran con nitrógeno el cual se envía a la tea de la planta a fin de quemar las trazas de impurezas.

**1.2.2 Proceso de Reacción 1** Para la producción de homopolimeros y copolimeros random, La reacción se efectúa en fase gaseosa en un reactor de lecho fluidizado al cual se alimentan continuamente los reactantes y un catalizador especialmente desarrollado para la producción de polipropileno de excelente calidad.

**Figura 6.** Proceso de Reacción 1



Fuente: Los Autores

El sistema de reacción consta de un Reactor, un Compresor y un Enfriador. El Reactor tiene aproximadamente 40 metros de altura y 4 metros de diámetro. El Compresor mantiene en circulación continua los gases, succionando gases calientes del tope del reactor forzándolos a pasar a través de un Enfriador para retornarlos por el fondo del Reactor. El polipropileno sólido formado se descarga continuamente hacia el área de desgasificación.

**1.2.3 Proceso de Reacción 2** Para el Proceso de producción de copolímeros de impacto Intervienen dos reactores en serie. Este sistema de Reacción N°2 igual que el N°1 está compuesto por un Reactor, un Compresor y un Enfriador.

**Figura 7.** Proceso de Reacción 2



Fuente: Los Autores

En el Reactor N°1 se produce Homopolímeros a partir de Propileno y un Catalizador. El polipropileno formado se descarga continuamente al Reactor N°2 donde la reacción prosigue con una mezcla de Propileno y Etileno. El Copolímero así formado se descarga hacia el área de desgasificación.

**1.2.4 Proceso de Desgasificación y Peletizado** El polipropileno descargado del Reactor N°1 y N°2 llega al Tanque Recibidor de Producto acompañado de gases ricos en monómeros, los gases se ventean hacia el sistema de recuperación y la resina pasa al tanque de purga de producto.

**Figura 8.** Proceso Desgasificación y Peletizado



Fuente: Los Autores

En este tanque se purga con nitrógeno los pocos hidrocarburos que aún contiene el polipropileno. La mezcla de nitrógeno e hidrocarburos se ventea hacia la Tea. La resina libre de hidrocarburos pasa al mezclador continuo donde se funde y mezcla con aditivos para ser luego peletizada.

El polipropileno peletizado se envía al área de almacenamiento

**1.2.5 Proceso de Recuperación.** Los gases venteados en el Tanque Recibidor de Producto son ricos en monómeros y es necesario recuperarlos a fin de hacer más eficiente el proceso.

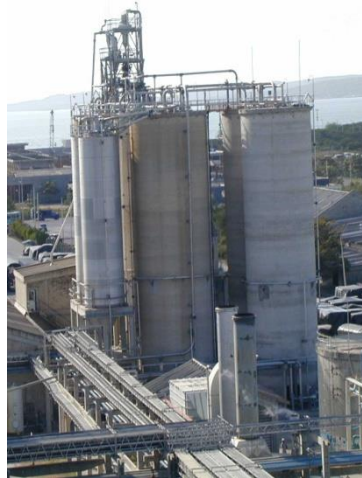
**Figura 9.** Proceso de Recuperación.



Mediante compresión, enfriamiento y destilación, el propileno venteado se pasa de la fase gaseosa a la líquida y se recircula a los reactores. Cuando se usa Etileno, éste se recircula hacia el sistema de reacción en estado gaseoso.

### 1.2.6 Proceso de Almacenamiento y Empaque.

**Figura 10.** Proceso de Almacenamiento y Empaque.



El polipropileno peletizado se almacena en silos y previa certificación en Laboratorio de la calidad del producto, éste se despacha a los clientes en alguna de las siguientes modalidades:

Al granel en carro tolva

Súper sacos de 830 y 1200 Kg.

En Bolsas de 25 Kg.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en PROPILCO S.A, empresa ubicada en la ciudad de Cartagena en el sector industrial de Mamonal, existen dos plantas de producción, planta N°1 y planta N°2, en el caso de esta última, se presenta una situación crítica con el estado físico de los equipos estáticos (recipientes a presión y tuberías), esto por estar geográficamente rodeado de ambientes altamente salinos y corrosivos, por tanto existen hoy día diversas maneras de ejercer control sobre los equipos, ya sea para mantener la operación, tener los equipos en un óptimo estado de funcionamiento, llevar el costo de todos los procesos asociados a la operación, pero no se tiene una información específica acerca de la criticidad de los equipos al momento de presentarse una falla y no se conoce si las actividades desarrolladas en la actualidad controlan o disminuyen los riesgos de los equipos.

Por tanto se carece de una información que permita tomar acciones de acuerdo a las situaciones presentadas en las que se logre prevenir los riesgos, esto debido a que no se posee una metodología de inspección basada en riesgo y al no tener la información suficiente se puede caer en desafortunadas situaciones como un accidente trágico en el peor de los casos, para las personas, el medio ambiente, además que se ve afectada la imagen de la compañía y por ende las repercusiones que genera la pérdida de los numerosos clientes como lo son las pérdidas económicas que a la postre son el soporte central de toda compañía.

Por lo anterior se hace necesario llevar a cabo un método de mantenimiento basado en RBI para la planta de producción n 2 en la empresa PROPILCO S.A.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Desarrollar una metodología que permita identificar los riesgos inherentes a los sistemas y equipos que conforman la planta n°2 de producción de polipropileno en la empresa PROPILCO S.A con el propósito de garantizar su integridad.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Definir las actividades que sean necesarias para detectar deterioro en servicio de las tuberías y recipientes antes de que se produzca la falla.
- Definir los planes de inspección de acuerdo a la probabilidad de riesgo y garantizar la confiabilidad de los sistemas.
- Identificar áreas o componentes de elevado impacto, sobre los cuales pueda tomarse acción para mitigar el riesgo.

## **4. QUÉ ES RIESGO**

### **4.1 DEFINICIÓN**

Es la combinación de la probabilidad de algún evento que ocurre durante un periodo de tiempo de interés y las consecuencias asociadas al este, las cuales por lo general son negativas, esto es, que el riesgo es igual a la probabilidad por su consecuencia.

El riesgo es algo con lo que vivimos los individuos cotidianamente, consciente o inconscientemente, las personas constantemente toman decisiones basadas en riesgo. Algunas decisiones tan simples como conducir un vehículo o cruzar la calle caminando, involucran riesgos. Otras decisiones más importantes como comprar una casa, invertir dinero y casarse, implican una aceptación de riesgo. La vida no está libre de riesgos y hasta los individuos más cautos los asumen.

### **4.2 INSPECCION BASADA EN RIESGO (RBI)**

Metodología que evalúa mediante un exhaustivo estudio, los riesgos asociados a cada uno de los equipos, desarrollando con base en ello, nuevo planes de inspección y mantenimiento de todas las instalaciones.

Las acciones de inspección y mantenimiento deben asegurar que todos los requisitos de seguridad sean mantenidos dentro de límites aceptables, mientras los costos totales debidos a inspecciones, reparaciones, fallas y pérdida de producción sean minimizados. Por lo tanto, los esfuerzos de la inspección serán focalizados consistentemente alrededor de los elementos importantes y sus procesos de deterioro, los cuales contribuyen a la seguridad y al riesgo económico de la instalación.

La inspección basada en riesgo es la técnica que combina la probabilidad de ocurrencia de las fallas con su consecuencia. Como logro se puede elaborar un programa de inspección destinado a definir, cuantificar y controlar los riesgos debido a las fallas en los equipos, con prioridades y frecuencias de inspección.

RBI trata sobre riesgos que pueden ser controlados a través de inspecciones y análisis apropiados. Durante el proceso de Inspección basada en Riesgos, los ingenieros diseñan estrategias de inspección que coinciden de la manera más eficiente con los mecanismos de degradación observados.

#### **4.2.1 FALLA EN RBI**

Es la pérdida de contención de un límite presionado, resultando en una fuga hacia la atmosfera o en la rotura de un componente presurizado.

A medida que un daño se acumula en un componente presurizado, el riesgo se incrementa hasta tal punto que se excede el límite de tolerancia al riesgo y entonces se recomienda una inspección lo suficientemente efectiva para cuantificar el estado del daño del componente.

La inspección como tal no reduce el riesgo, sin embargo reduce la incertidumbre, al permitir una mejor cuantificación del daño presente en el componente y así poder tomar las medidas de mitigación del daño que sean necesarias.

#### **4.2.2 ¿Por qué se requiere RBI?**

- La inspección basada en riesgo puede reducir el riesgo de fallas de alta consecuencia
- Mejorar la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento, proporcionar una base para la transferencia de recursos de menor a equipos de mayor riesgo, medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección en curso.
- Medida de reducción del riesgo como consecuencia de las prácticas de inspección.

#### **4.2.3 Capacidades de la Inspección Basada en el Riesgo**

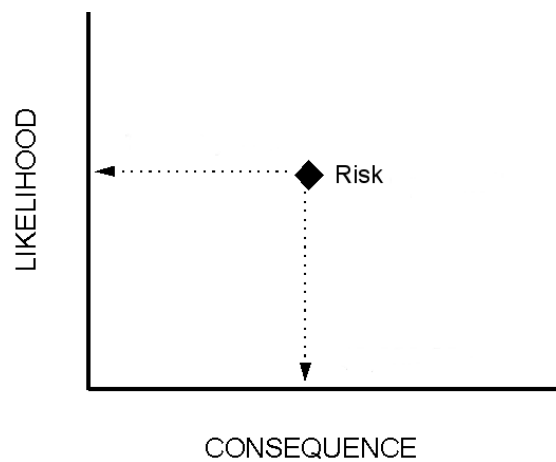
La Inspección Basada en Riesgo (RBI) tiene la capacidad de hacer lo siguiente:

- Evaluar los planes actuales de inspección para determinar las prioridades para las inspecciones.
- Evaluar los planes de futuro para la toma de decisiones.
- Evaluar los cambios a las operaciones básicas que afectan a la integridad del equipo.
- Identificar estados críticos contribuyentes al riesgo que de otro modo puede ser pasado por alto
- Establecer niveles óptimos económicos de la inspección pesadas contra la reducción del riesgo

**4.2.4 Medición del Riesgo.** El riesgo es una combinación de la probabilidad y consecuencia.<sup>1</sup>

Una forma de ilustrar el riesgo es como se muestra en la figura 11.

**FIGURA 11. Probabilidad vs. Consecuencia**



Otra forma de medir el riesgo es a través de un método cuantitativo. En la figura 12 se puede apreciar los índices de riesgo según el color, siendo el de menor ponderación el color blanco y el de mayor ponderación el color rojo.

---

<sup>1</sup> American Petroleum Institute, API RP 580, API Recommended Practice 580. Risk-Based Inspection, Primera Edición Mayo del 2002.

**Figura 12.** Matriz de criticidad

La matriz de criticidad se muestra en un formato de tabla con 4 filas y 5 columnas. El eje vertical (Y) está etiquetado como 'FRECUENCIA' y tiene valores 1, 2, 3 y 4. El eje horizontal (X) está etiquetado como 'CONSECUENCIA' y tiene valores 10, 20, 30, 40 y 50. Las celdas están coloreadas y etiquetadas como sigue:

| FRECUENCIA | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|------------|----|----|----|----|----|
| 4          | MC | MC | C  | C  | C  |
| 3          | MC | MC | MC | C  | C  |
| 2          | NC | NC | MC | C  | C  |
| 1          | NC | NC | NC | MC | C  |

Fuente:<http://confiabilidad.net/articulos/modelo-integral-para-optimizar-la-confiabilidad-en-instalaciones-petroleras/>

Se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias y se ubican en la matriz de criticidad - valor de frecuencia en el eje Y, valor de consecuencias en el eje X. La matriz de criticidad mostrada en la figura 11 permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

## 5. GENERALIDADES DEL RIESGO BASADO EN INSPECCIÓN

### 5.1 MARCO TEORICO

En empresas petroquímicas, debido al riesgo en que están sometidos sus procesos productivos, han visto la necesidad de desarrollar métodos de inspección que garanticen la disponibilidad e integridad de los activos de la empresa. El manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas definen el estado de criticidad de los equipos ya que estos se encuentran no solamente sometidos a las condiciones de operación tales como presión temperatura, corrosión, que de una manera u otra afectan la vida útil del activo además las condiciones ambientales y el medio corrosivo en el cual se encuentra operando el equipo, despliega una gama de actividades tendientes a mejorar la confiabilidad de los equipos estáticos.

Rubén Turmero en el año 2011 encontró en la empresa Orinoco Iron <sup>2</sup> cuatro Hornos de Gas Reductor, uno para cada Tren o línea de producción. Equipo integrado por una Zona de Convección y una Zona de Radiación, las cuales presentan la tarea de aumentar la temperatura del Gas Reductor que posteriormente será introducido al sistema de reactores, sin embargo, dichas tuberías tendían a presentar un mecanismo de corrosión al estar en contacto con del gas altamente carburizante, causando en consecuencia una pérdida de espesor progresivo.

Con la finalidad de esclarecer lo ocurrido el personal de la empresa se vio en la necesidad de realizar las investigaciones y análisis causa-raíz (ACR) pertinentes

---

<sup>2</sup> TURMERO, Rubén. Metodología de inspección basada en riesgo a través de un sistema de control de mediciones de espesor en la zona de convección de los hornos de gas reductor, Orinoco iron S.C.S. trabajo de grado Ingeniero Metalúrgico. Puerto Ordaz: Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” , Departamento de Ingeniería Metalúrgica,2011,119 P. disponible en < [www.1001portails.com](http://www.1001portails.com)>

para de ésta manera detectar así las causas que generaron la falla prematura de los tubos de la zona de convección y aplicar la correcciones correspondientes.

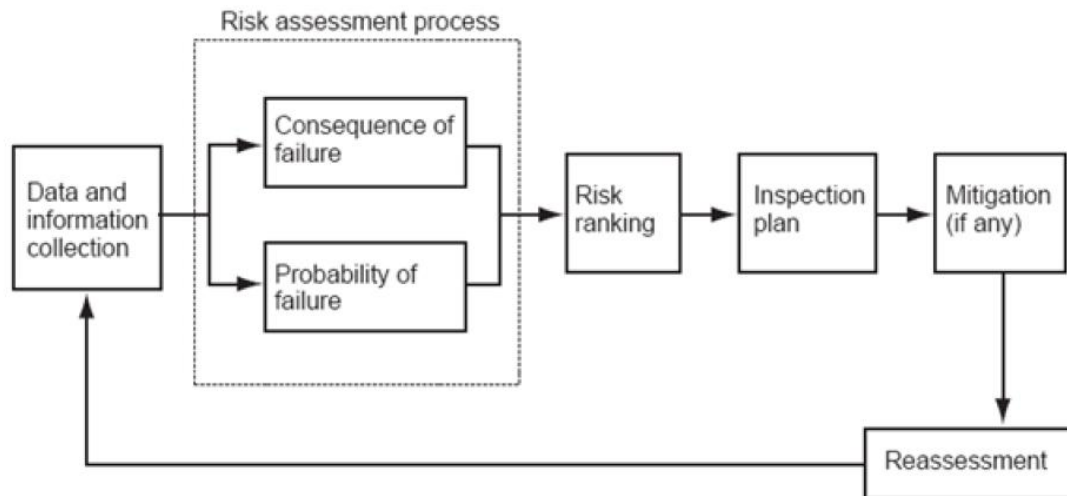
Una vez realizado el respectivo análisis de falla a los tubos y estudiado las posibles causas que dieron origen a la falla, se llegó a la conclusión de que una de las aleaciones presentes en uno de los niveles según diseño, es susceptible a un fenómeno de carburización en la zona interior de los tubos que se hace presente con las condiciones normales de operación a las cuales era expuesto, y agregando la disminución de espesor presente por pérdida de material los tubos carecían de las propiedades mecánicas necesarias o exigidas en el sistema.

Por lo acontecido y las investigaciones realizadas se concluyó y procedió a realizar el cambio de la aleación correspondiente a los tubos ubicados en los niveles afectados, y se cambio por una aleación de acero inoxidable austenítico usado en aplicaciones donde se esté en presencia de altas temperaturas, además de ser resistente a la carburización, oxidación y termofluencia.

## 6. Marco Normativo según Normas API-RP 580 Y API- RP 581

La guía propuesta tiene como propósito otorgar los lineamientos con los cuales se desarrollará el plan de mantenimiento de acuerdo a la norma **API 580 (Risk Based Inspection)** y que permita llevar a cabo la inspección de los equipos en una planta de producción de polipropileno. De esta forma es posible detectar el deterioro de los equipos en servicio antes de que ocurra la falla, y por consiguiente plantear y ejecutar acciones proactivas para evitarlas.

**Figura 13.** Etapas de implementación RBI



Fuente: Norma API 580

En la Figura 13 se observa las etapas de implementación de RBI las cuales cubren la metodología descrita de la siguiente manera:

1. Planeación de la Evaluación RBI.
2. Recolección de Datos e Información.
3. Identificación de los Mecanismos de Deterioro y Modos de Falla.
4. Evaluación de la Probabilidad de Falla.
5. Evaluación de la Consecuencia de la Falla.
6. Determinación, Evaluación y Administración de Riesgos
7. Administración de Riesgos con Actividades de Inspección
8. Otras Actividades de Mitigación de Riesgos
9. Reevaluación y Actualización
10. Roles, Responsabilidades, Entrenamiento y Calificaciones
11. Documentación y Registros

El resultado esperado de la aplicación del proceso RBI debe ser el vínculo de los riesgos con la inspección adecuada u otras actividades de mitigación para administrar riesgos. El proceso RBI puede generar:

- a. Una clasificación por riesgo de todo el equipo evaluado.
- b. Una descripción detallada del plan de inspección que será empleado para cada equipo, incluyendo:
  1. Métodos de inspección que deben ser utilizados (ejemplo visual, UT, Radiografía, WFMT).

2. Extensión de la aplicación de los métodos de inspección (ejemplo porcentaje del área total examinada o sitios específicos)
  3. Tiempos de inspecciones/ exámenes
  4. Administración de riesgos lograda mediante la implementación del plan de inspecciones.
- c. Una descripción de cualquier otra actividad de mitigación de riesgos (tales como reparaciones, reemplazos o actualizaciones del equipo de seguridad).
- d. Los niveles de riesgo esperados de todo el equipo después de implementar el plan de inspección y otras actividades de mitigación de riesgos.

De acuerdo a lo expresado en la normativa API-580 entre los procesos para el desarrollo de la metodología RBI es fundamental la recopilación de la información almacenada en las bases de datos, procedimientos, catálogos, etc. de los equipos e instalaciones que se seleccionaron como propósito del estudio.

Los datos más comunes que se recopilan para el estudio de RBI son:

- Condiciones optimas de funcionamiento
- Registro de inspecciones y reemplazo de piezas.
- Composición del material almacenado.
- Material de construcción.
- Costo del equipo.
- Mecanismos de seguridad con los que cuenta.

## **6.1 Elementos Claves de un Programa RBI**

Los elementos claves que deben existir en cualquier programa RBI son:

- a. Sistemas de administración para mantener documentación, calificaciones de personal, requerimientos de información y actualizaciones de análisis.
- b. Método documentado para la Determinación de Consecuencias de falla.
- c. Metodología documentada para administrar la inspección de riesgos y otras actividades de mitigación.

## **6.2 Beneficios y Limitaciones de RBI**

Los principales productos del trabajo de la evaluación RBI y la aproximación de administración son los planes que incluyen formas de administrar riesgos a nivel de equipo. Estos planes de equipo destacan riesgos desde una perspectiva de seguridad, salud, ambiente o desde un punto de vista económico. En estos planes, se recomiendan acciones efectivas en cuanto a costo, para la mitigación de riesgos junto con el nivel resultante de mitigación de riesgo esperada.

La implementación de estos planes proporciona lo siguiente:

- a. Una reducción general en el riesgo para las instalaciones y equipo analizados.
- b. Una aceptación/ entendimiento del riesgo actual.

Los planes RBI también identifican el equipo que no requiere inspección o alguna otra forma de mitigación debido al nivel de riesgo aceptable asociado con la operación actual del equipo. De esta forma, las actividades de mantenimiento e inspección pueden ser focalizadas y más efectivas en costos. A menudo esto da como resultado información más exacta; y en algunos casos, además de las reducciones de riesgo y mejoramiento en los procesos

de seguridad. Existe también una reducción significativa en la cantidad de datos de inspección que se recolectan.

En algunos casos, además de las reducciones de riesgos y los mejoramientos en la seguridad del proceso, los planes RBI pueden generar reducción en costos.

El programa de RBI se basa en principios de administración evaluación de riesgos. No obstante, la RBI no compensa:

- a. Información inexacta.
- b. Diseños inadecuados o instalación defectuosa del equipo.
- c. Operación por fuera de un diseño aceptable
- d. No ejecutar efectivamente los planes
- e. La carencia de personal o equipo de trabajo calificados.
- f. La carencia de buen juicio operacional.

## 7. DEFINICIONES

**ACEPTACIÓN DEL RIESGO:** Es la decisión de aceptar el riesgo. Esta aceptación depende de los criterios de riesgo.

**ALARP** (Tan Bajo Como sea Razonablemente Práctico **-As Low As Reasonably Practical**): Concepto de minimización que postula que los atributos (tales como el Riesgo) sólo puede ser reducidos hasta cierto nivel mínimo con la tecnología actual y un costo razonable.

**ANÁLISIS DE RIESGO:** Es el uso sistemático de la información para identificar las fuentes de peligro y calcular el riesgo. El análisis de riesgo proporciona la base para la evaluación, la mitigación y la aceptación del riesgo. La información puede incluir datos históricos, análisis teórico, opiniones y preocupaciones de los evaluadores.

**COMUNICACIÓN DEL RIESGO:** Es el intercambio o distribución de información acerca del riesgo entre quien toma la decisión y los otros interesados. La información puede relacionarse con la existencia, la naturaleza, la probabilidad, la seriedad, la aceptabilidad, la mitigación u otros aspectos del riesgo.

**CONSECUENCIA:** Resultado de un evento. Pueden existir una o más consecuencias de un evento. Las consecuencias pueden oscilar de positivas a negativas. Sin embargo, las consecuencias son siempre negativas desde la óptica de seguridad. Las consecuencias pueden ser expresadas cualitativa o cuantitativamente.

**CONTROL DEL RIESGO:** Son las acciones que implementan las decisiones de administración de riesgo. El control de riesgos puede involucrar el monitoreo, la

reevaluación, la aceptación y el cumplimiento de las decisiones.

**CRITERIOS DE RIESGOS:** Son los términos de referencia mediante los cuales se evalúa la importancia del riesgo. Los criterios de riesgo pueden incluir costos y beneficios asociados, requerimientos estatutarios y legales, el interés de los empleados, las prioridades y otros elementos de entrada para la evaluación.

**DETERIORO:** La reducción de la capacidad de un componente para cumplir con su propósito de contener fluidos. Esto puede ser causado por diversos mecanismos de deterioro. En lugar de deterioro se pueden usar los términos daño o degradación.

**ESTIMACIÓN DEL RIESGO:** Es el proceso utilizado para asignar valores a la probabilidad y consecuencia de un riesgo. La estimación del riesgo puede considerar el costo, los beneficios, las preocupaciones del interesado y otras variables según sea apropiado para la evaluación del riesgo.

**ESTUDIO DEL RIESGO Y LA OPERABILIDAD (HAZOP):** Un estudio HAZOP es una forma de modos de falla y análisis de efectos. Los estudios HAZOP, que fueron desarrollados originalmente para la industria del proceso, utiliza técnicas sistemáticas para identificar riesgos y temas de operabilidad en todas las instalaciones. Es particularmente útil en la identificación de riesgos imprevistos debido a la carencia de información o a cambios en las condiciones del proceso o los procedimientos de operación.

**EVALUACIÓN DE RIESGO:** Proceso utilizado para comparar el riesgo estimado contra los criterios de riesgo dados, con el fin de determinar la importancia del riesgo. La evaluación del riesgo puede ser utilizada como ayuda en la decisión de aceptación o mitigación.

**EVENTO:** Ocurrencia de un conjunto particular de circunstancia. El evento puede ser cierto o incierto. Puede ser singular o múltiple. La probabilidad asociada como el evento puede calcular para un periodo de tiempo dado.

**EVENTO EXTERNO:** Evento resultantes de fuerzas naturales, caso fortuitos o eventos tales como incendios o explosiones en áreas vecinas, emisiones de material peligroso de terceros, falla en la energía eléctrica, intrusión de vehículos externos de transporte tales como avionetas, barcos, trenes, camiones, o automóviles. Los eventos externos generalmente están más allá del control directo o indirecto de las personas empleadas en las instalaciones.

**FALLA:** Terminación de la capacidad de un sistema, estructura o componente para realizar su función. Las fallas pueden ser no anunciadas o indetectables hasta la siguiente inspección (falla no anunciada), o pueden ser anunciadas y detectadas por cualquier número de métodos en el momento de la ocurrencia).

**FUENTE:** Cosa o actividad con un potencial para la consecuencia. La fuente en un contexto de seguridad es un riesgo.

**IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE:** Proceso para encontrar, relacionar y caracterizar fuentes. En el área de la seguridad la identificación de la fuente se denomina identificación de riesgos.

**IDENTIFICACIÓN DE RIESGO:** Proceso para encontrar, relacionar y caracterizar los elementos de riesgo. Estos elementos de riesgo pueden incluir fuente, evento, consecuencia probabilidad. La identificación del riesgo también puede identificar la preocupación de los interesados.

**INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO:** Es una evolución del riesgo y el proceso de administración que se enfoca en la pérdida de la capacidad de contención del equipo presurizado en instalaciones de procesamiento debido al deterioro del material. Estos riesgos se administran principalmente a través de inspección al equipo.

**MITIGACIÓN:** Limitación de cualquier consecuencia negativa o reducción de la probabilidad de un evento en particular.

**MITIGACIÓN DE RIESGOS:** Proceso de selección e implementación de medidas para modificar el riesgo. El término mitigación de riesgos algunas veces se utiliza para las medidas en sí.

**MODO DE FALLA:** La forma como se presenta la falla. Para inspección basada en riesgo, la falla de interés es la pérdida de la capacidad como contenedor de equipos presurizados. Algunos modos de falla son huecos, grietas y rupturas.

**PELIGRO:** es la condición que causa heridas o muertes, pérdida de equipos, propiedades o deterioro ambiental. (Explosión, incendio, temperaturas altas, etc.)

**PERSONAL INTERESADO:** Cualquier individuo, grupo u organización que pueda afectar, ser afectado o percibirse a sí mismo como afectado por el riesgo.

**PROBABILIDAD:** Grado en el que un evento tiene la posibilidad de ocurrir dentro del marco de tiempo en consideración. La definición matemática de probabilidades “un número real en la escala de 0 a 1 unida a un evento al azar”. La probabilidad puede estar relacionada con una frecuencia de ocurrencia relativa a largo plazo o un grado de creencia de que un evento ocurrirá. Para un mayor grado de creencia, la probabilidad es cerca de uno.

La frecuencia y no la probabilidad, puede ser utilizada para describir el riesgo. Los grados de creencia acerca de la probabilidad pueden ser escogidos como clases o categorías como “improbable/moderado/probable/casi cierta” o “increíble/improbable/remoto/probable/frecuente”

**REDUCCIÓN DE RIESGOS:** Son las acciones tomadas para disminuir la probabilidad, las consecuencias negativas o ambas asociadas con un riesgo en particular.

**RIESGO:** combinación de la probabilidad de un evento y su consecuencia. En algunas situaciones, el riesgo es una desviación de lo esperado. Cuando la probabilidad y la consecuencia se expresan numéricamente, el riesgo es el producto.

**TOLERANCIA AL DAÑO:** La cantidad de deterioro que un componente puede soportar sin fallar.

## **8. TIPOS DE EVALUACIÓN RBI**

Existen varios Tipos de evaluaciones de RBI los cuales pueden ser conducidos a varios niveles. Para poder determinar la opción adecuada es necesario evaluar las siguientes variables:

- a) Objetivo del estudio.
- b) Número de instalaciones y componentes del equipo para estudiar.
- c) Recursos Disponibles.
- d) Complejidad de las instalaciones y procesos.
- e) Naturaleza y calidad de datos disponibles.

El procedimiento de RBI puede ser aplicado cualitativamente, cuantitativamente o combinando rasgos de ambos (es decir, semi-cuantitativamente). Cada alcance proporciona una herramienta sistemática para monitorear el riesgo, identificando áreas de riesgo potencial, y permitiendo el desarrollo de una lista de equipos con un plan de inspección y evaluación más apropiado sobre las bases de caso por caso y no necesariamente más extensivo. Cada una desarrolla una medida de la clasificación del riesgo que va a ser usado para evaluar separadamente la probabilidad de falla y la consecuencia potencial de falla. Estos dos valores se combinan para estimar riesgo.

Se debe determinar el tipo de enfoque de la probabilidad, estos enfoques se han categorizado como: Cualitativos, cuantitativos y Semi-cuantitativos.

### **8.1 ENFOQUE CUALITATIVO**

Este enfoque requiere datos basados en información descriptiva utilizando el juicio y la experiencia ingenieril como base para el análisis de la probabilidad y la consecuencia de la falla. Los datos generalmente se suministran por rangos en

lugar de ser valores discretos. Los resultados se proporcionan en términos cualitativos tales como alto, medio y bajo, aunque los valores numéricos pueden estar asociados con estas categorías. El valor de este tipo de análisis está en que hace posible la culminación de una evaluación de riesgo si no se tiene información cuantitativa detallada. La exactitud de los resultados de un análisis cualitativo depende de los antecedentes y la pericia de los analistas.

## **8.2 ENFOQUE CUANTITATIVO**

El análisis cuantitativo de riesgos integra en una metodología uniforme la información relevante acerca del diseño de las instalaciones, las prácticas de operación, la historia operacional, la confiabilidad del componente, las acciones humanas, la progresión física de accidentes y los efectos potenciales sobre la salud y el ambiente. El análisis cuantitativo de riesgos utiliza modelos lógicos que muestran combinaciones de eventos que podrían ocasionar accidentes graves y modelos físicos que muestran la progresión de accidentes y el transporte de un material peligroso para el ambiente.

Los modelos son evaluados probabilísticamente para proporcionar introspecciones cualitativas y cuantitativas acerca del nivel de riesgo y para identificar las características del diseño, del sitio o de las operaciones que son más importantes para el riesgo. El análisis cuantitativo de riesgos se diferencia del cualitativo por la profundidad de análisis y la integración de evaluaciones detalladas. Los modelos lógicos de análisis cuantitativos de riesgos generalmente constan de árboles de eventos y árboles de fallas. Los árboles de eventos delimitan los eventos desencadenantes y las combinaciones de éxitos y fallas del sistema mientras que los árboles de fallas muestran cómo pueden ocurrir las fallas representadas en los árboles de eventos. Estos modelos se analizan para estimar la probabilidad de cada secuencia de accidente. Los resultados de este enfoque generalmente se presentan como números de riesgo.

### **8.3 ENFOQUE SEMI- CUANTITATIVO**

Semi-cuantitativo es un término que describe cualquier enfoque que tenga aspectos derivados de los enfoques cualitativo y cuantitativo. Se engrana para obtener los mayores beneficios de los dos enfoques anteriores (ej. La velocidad del cualitativo y el rigor del cuantitativo). Generalmente, la mayoría de datos utilizados en un enfoque cuantitativo es necesaria para este enfoque, pero con menor detalle. Los modelos también pueden no ser tan rigurosos como los utilizados para el enfoque cuantitativo. Los resultados generalmente se proporcionan en categorías de consecuencia y probabilidad en lugar de números de riesgos, pero los valores numéricos pueden estar asociados con cada categoría para permitir el cálculo del riesgo y la aplicación de criterios de riesgo adecuados.

### **9. EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE RIESGO (QRA)**

La Evaluación Cuantitativa de Riesgos (QRA) se refiere a una metodología prescriptiva que ha resultado de la aplicación de técnicas de análisis de riesgos en muchos tipos diferentes de instalaciones, incluyendo instalaciones de procesos químicos y de hidrocarburos. Para todos los fines y propósitos, es un análisis de riesgo tradicional. Un análisis RBI comparte muchas de las técnicas y requerimientos de información con una QRA. La QRA tradicional generalmente comprende cinco tareas:

- a. Identificación de los sistemas
- b. Identificación de Riesgos
- c. Evaluación de probabilidades
- d. Análisis de consecuencias

e. Resultados del riesgo.

La definición de sistemas, la identificación de riesgos y el análisis de consecuencias se vinculan integralmente. La identificación de riesgos en un análisis RBI generalmente se enfoca en mecanismos de falla identificables en el equipo, pero no tiene que ver explícitamente con otros escenarios de falla resultantes de eventos tales como fallas de electricidad o errores humanos. La QRA se relaciona con el riesgo total, no sólo con el riesgo asociado con el deterioro del equipo. Generalmente, involucra una evaluación mucho más detallada que un análisis RBI. Se analiza la siguiente información.

a. HAZOP existente o resultados del análisis de riesgo del proceso (PHA).

b. Diseño del dique y del drenaje

c. Sistemas de detección de riesgos.

d. Sistemas de protección de incendios

e. Estadísticas de emisión

f. Estadísticas de heridas

g. Distribuciones de población

h. Topografía

i. Condiciones del clima

j. Uso del terreno.

Los analistas de riesgo con experiencia generalmente realizan una QRA. Existe la oportunidad de vincular la QRA detallada con un estudio RBI.

## **10. UTILIZACIÓN DE RBI PARA ESTABLECER PLANES DE INSPECCIÓN Y PRIORIDADES**

El producto principal de una RBI debe ser un plan de inspección para cada equipo evaluado. El plan de inspección debe detallar el riesgo no mitigado relacionado con la operación actual. Para riesgos que se consideren inaceptables, el plan debe contener las acciones de mitigación recomendadas para reducir el riesgo no mitigado a niveles aceptables.

Para aquellos equipos donde la inspección es un medio de administración de riesgo efectivo en costos, los planes deben describir el tipo, el alcance y los tiempos de inspección/ examen recomendados. La clasificación del equipo por nivel de riesgo no mitigado les permite a los usuarios asignar prioridades a las diversas tareas de inspección/ examen. El nivel de riesgo no mitigado debe ser utilizado para evaluar la urgencia para realizar la inspección.

## **11. ANÁLISIS DE RIESGOS DEL PROCESO**

Un proceso de análisis de riesgos del proceso (PHA) utiliza un enfoque sistémico para identificar y analizar riesgos en una unidad de proceso. El estudio RBI puede incluir una revisión del resultado de cualquier PHA que se haya realizado sobre la unidad en evaluación. Los riesgos identificados en el PHA pueden ser estudiados específicamente en el análisis RBI. Los riesgos potenciales identificados en un PHA con frecuencia afectan la probabilidad del lado de falla de la ecuación de riesgo. El riesgo puede resultar de una serie de eventos que podrían causar una anomalía en el proceso, o podría ser el resultado de deficiencias en el diseño o instrumentación del proceso. En cualquier caso, el riesgo puede aumentar la probabilidad de falla, caso en el cual el procedimiento RBI debe reflejar lo mismo. Algunos riesgos identificados afectarían el lado consecuencia de la ecuación de

riesgo. Por ejemplo, la falla potencial de una válvula de aislamiento podría aumentar el inventario de material disponible para despacho en el evento de una fuga. El cálculo de consecuencia en el procedimiento RBI puede ser modificado para reflejar este riesgo adicionado. De la misma forma, los resultados de una evaluación RBI puede aumentar significativamente el valor general de un PHA.

## **12. PLANEAMIENTO DE LA EVALUACIÓN RBI**

El proceso organizacional de alinear prioridades, monitorear riesgos e identificar límites, mejora la eficiencia y efectividad de realizar la evaluación y de sus resultados finales en la administración de riesgos. Una evaluación RBI es un proceso en equipo. Al comienzo del ejercicio es importante definir:

- a. Porqué se está realizando la evaluación
- b. Cómo se ejecutará la evaluación RBI.
- c. Qué conocimiento y destrezas se requieren para la evaluación
- d. Quién está en el equipo RBI.
- e. Cuáles son sus funciones en el proceso RBI.
- f. Quién es responsable de cuáles acciones
- g. Qué instalaciones, activos y componentes deben incluirse.
- h. Qué información se utilizará en la evaluación
- i. Qué códigos y estándares son aplicables
- j. Cuándo terminará la evaluación
- k. Cuánto tiempo tendrá de vigencia la evaluación y cuándo se actualizará
- l. Cómo se utilizarán los resultados

### **12.1 Establecer objetivos y metas de una evaluación RBI**

Una evaluación RBI debe ser emprendida con objetivos y metas claros que sean entendidos completamente por todos los miembros del equipo RBI.

### **12.2 Entender los Riesgos**

Un objetivo de la evaluación RBI puede ser entender mejor los riesgos involucrados en la operación de una planta o unidad de proceso y entender los efectos que tienen la inspección, el mantenimiento y la inspección sobre los riesgos. A partir del entendimiento de los riesgos, se puede diseñar un programa de inspección que optimice el uso de los recursos de inspección y mantenimiento de la planta.

### **12.3 Definir Criterios de Riesgo**

Una evaluación RBI determinará el riesgo asociado con los elementos evaluados. El equipo RBI y la administración pueden desear juzgar si los riesgos individuales o acumulados del equipo son aceptables. El establecer criterios de riesgo para juzgar la aceptabilidad del riesgo podría ser un objetivo de la evaluación RBI si tales criterios no existen todavía dentro de la compañía del usuario.

### **12.4 Monitoreo de Equipos**

En la mayoría de plantas, un gran porcentaje de riesgo de la unidad total se concentrará en un porcentaje relativamente pequeño de los equipos. Estos elementos de alto riesgo potencial deben recibir mayor atención en la evaluación. El monitoreo de los equipos a menudo se realiza para identificar los que presentan mayor riesgo y ejecutar una evaluación más detallada. Una evaluación RBI puede ser aplicada a todos los equipos presurizados tales como:

- a. Tubería
- b. Recipientes presurizados
- c. Reactores.
- d. Intercambiadores de calor
- e. Hornos
- f. Tanques.
- g. Bombas (Límite de presión).
- h. Compresores (Límite de presión).
- i. Válvulas de alivio de presión.
- j. Válvulas de control (Límite de presión).

## **12.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS PARA LA EVALUACIÓN RBI**

**12.5.1 Datos necesarios para RBI.** Un estudio RBI puede utilizar un enfoque cualitativo, semi- cuantitativo o cuantitativo. La diferencia fundamental entre estos enfoques es la cantidad y detalle de los elementos que intervienen, de los cálculos y de los resultados. Para cada enfoque RBI es importante documentar desde el comienzo todas las bases del estudio, las hipótesis y aplicar una racional constante. Se debe registrar cualquier desviación de los procedimientos estándar prescritos. La documentación de equipo único de los identificadores de la tubería también es un buen punto de partida para cualquier nivel de estudio. El equipo de corresponder a un solo grupo o ubicación tal como una unidad de proceso específica o un sitio de planta en particular. Los

datos típicos necesarios para un análisis RBI pueden incluir, pero no están limitados a:

- a. Tipo de equipo
- b. Materiales de construcción
- c. Registros de inspección, reparación y reemplazo
- d. Composiciones de los fluidos del proceso
- e. Inventario de fluidos
- f. Condiciones de operación
- g. Sistemas de seguridad
- h. Sistemas de detección
- i. Mecanismos, promedio y gravedad del deterioro.
- j. Densidades de personal.
- k. Información de las paredes, del revestimiento exterior y del aislamiento.
- l. Costos de interrupción del negocio.
- m. Costos de reemplazo del equipo.
- n. Costos de remedio ambiental.

## **13. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA**

### **13.1 OBJETIVO**

Establecer un plan de inspección mediante la metodología API-RBI de tipo cualitativo para los sistemas de la planta de producción N°2 de polipropileno para la planta Propilco S.A., con la finalidad de establecer el estado actual de los equipos objeto de estudio.

### **13.2 DESCRIPCIÓN GENERAL**

Para tales fines, el alcance de la presente monografía se limita al desarrollo de la metodología de inspección basada en riesgo de la planta de producción en estudio, la cual describe en forma breve la metodología API-RBI de tipo cualitativo del código API 580, la cual se muestra en el anexo A.

Esta evaluación de tipo cualitativo tiene principalmente dos objetivos: El primero se enfoca en establecer una priorización para los sistemas de una planta, de tal forma que el análisis y valoración de integridad para los equipos de la planta sea aplicado de la manera más benéfica en cuanto a la relación de costo-beneficio, partiendo del principio de que hay que garantizar la seguridad de las personas, el medio ambiente y la propiedad.

El segundo hace referencia a tener un lenguaje común donde la unificación de factores que son relevantes en los sistemas del proceso, permitan la jerarquización por plantas, sistemas o unidades de proceso, de tal manera que la compañía tenga un panorama global del nivel actual de riesgo en las diferentes unidades o sistemas que conforman la planta y de igual forma se

pueda comparar con otras plantas similares, siendo posible el desarrollo de un nivel relativo de riesgo.

### **13.3 LAZOS DE CORROSIÓN**

Para el presente estudio se seleccionaron los P&ID'S mas relevantes que se involucran en el proceso, desde el almacenamiento de materias primas hasta el almacenamiento del producto final.

Para este estudio se analizaron 25 P&ID'S; resultado de este estudio de este estudio se obtuvo 20 lazos de corrosión.

El análisis consistió en identificar familias de equipos y tuberías que compartan la misma metalurgia y condiciones similares de proceso tales como temperatura, presión y fluido.

La forma de diferenciar cada familia es mediante colores que se pintan directamente sobre los planos, a cada color se le asigna un código y un nombre distintivo conocido como lazo de corrosión. Las familias se observan en la tabla N°1.

**TABLA N°1 LAZOS DE CORROSION**

| RBI PROPILCO PLANTA 2 |          |       |                                      |
|-----------------------|----------|-------|--------------------------------------|
| No                    | LAZO     | COLOR | DESCRIPCIÓN                          |
| 1                     | LZ-A-01  |       | AGUA DE ENFRIAMIENTO                 |
| 2                     | LZ-A-02  |       | AGUA DE PLANTA TRATADA (WP)          |
| 3                     | LZ-A-03  |       | AGUA DESMINERALIZADA (WDS)           |
| 4                     | LZ-AC-01 |       | AGUA CONTRA INCENDIO INOX. (WF2)     |
| 5                     | LZ-AC-02 |       | AGUA CONTRA INCENDIO CS. (WF1)       |
| 6                     | LZ-AL-01 |       | AIRE INSTRUMENTOS (AII)              |
| 7                     | LZ-AL-02 |       | AIRE DE PLANTA (AIP)                 |
| 8                     | LZ-C-01  |       | CO2                                  |
| 9                     | LZ-E-02  |       | ETILENO CRIOGENICO DE ALMACENAMIENTO |
| 10                    | LZ-E-04  |       | ETILENO GASEOSO CALIENTE             |
| 11                    | LZ-E-06  |       | ETILENO COMPRIMIDO CALIENTE (EE1)    |
| 12                    | LZ-H-01  |       | HIDROGENO (H2)                       |
| 13                    | LZ-N-01  |       | NITROGENO DE PURGA                   |
| 14                    | LZ-P-02  |       | PROPILENO DE ENFRIAMIENTO            |
| 15                    | LZ-P-03  |       | PROPILENO COMPRIMIDO CALIENTE        |
| 16                    | LZ-P-09  |       | PROPANO PROPILENO                    |
| 17                    | LZ-R-02  |       | REACTOR A 30 BAR                     |
| 18                    | LZ-V-01  |       | VAPOR DE MEDIA (SL)                  |
| 19                    | LZ-V-02  |       | CONDENSADO. (CPL)                    |
| 20                    | LZ-V-03  |       | VAPOR DE ALTA (SH1)                  |

Fuente: Los Autores

## **ANALISIS DE LAZOS DE CORROSION**

Cada uno de los 20 lazos de corrosión fue analizado en formato aparte, como se ilustra en el Anexo B, teniendo en cuenta las condiciones de proceso, las ventanas operacionales, los mecanismos de degradación de materiales y las condiciones del área física donde se encuentran los equipos.

En estos formatos se identifican algunos equipos para ilustrar la metodología a implementar.

### 13.4 MATRIZ DE RIESGOS

Para elaborar los análisis de riesgos se utilizó la matriz de riesgos de la vicepresidencia de operaciones

**Figura 14. Matriz de Riesgo**

| CONSECUENCIAS                            |                           |            |                  |  | CRITICIDAD                                      |  |   |                                      |   |   |
|--|---------------------------|------------|------------------|--|---|--|---|--------------------------------------|---|---|
|  |                           |            |                  |  | A: NULA   | B: INSIGNIFICANTE  | C: MEDIA                                | D: ALTA                              | E: EXTREMA                                  |   |
| PERSONAS                                 | ECONÓMICA                 | AMBIENTAL  | AGEN DE LA EMPRE | CLIENTES   | PROBABILIDAD                                    | Prácticamente imposible que ocurra el próximo año                | Poco probable que ocurra el próximo año | Es posible que ocurra el próximo año | Bastante probable que ocurra el próximo año | Ocurrirá con alto nivel de certeza el próximo año |
|  |                           |            |                  |  | Ha ocurrido en la Industria hace más de 10 años | Ha ocurrido en los últimos 10 años en Propilco o en la Industria | Ha ocurrido en los últimos 5 años       | Ha ocurrido en el último año         | Ha ocurrido más de una vez en el último año |   |
| Uno o más fatalidades                    | Catastrófica > \$10M      | Masivo     | Internacional    | Veto a Propilco como proveedor                         | 5   | M  | H                                       | E                                    | X   | X   |
| Incapacidad permanente (parcial o total) | Grave \$1M a \$10M        | Mayor      | Nacional         | Perdida de participación en el mercado                 | 4   | L  | M                                       | H                                    | E   | X   |
| Incapacidad temporal (> 1dia)            | Severo \$100k a \$1M      | Localizado | Regional         | Perdida de clientes y/o desabastecimiento              | 3   | N  | L                                       | M                                    | H   | E   |
| Lesión menor (Sin capacidad)             | Importante \$10k a \$100k | Menor      | Local            | Implica Quejas y/o Reclamos                            | 2   | N  | N                                       | L                                    | M   | H   |
| Lesión leve (Tros auxilios)              | Marginal < \$10K          | Leve       | Interna          | Riesgo de incumplir cualquiera de las especificaciones | 1   | N  | N                                       | N                                    | L   | M   |

### **13.5      DIAGRAMAS LOGICOS DE CRITICIDAD PARA TUBERIAS**

Para definir si un circuito de tuberías es crítico para la seguridad de la planta se creó un cuadro lógico que se aplicó para cada familia de fluidos (Ver Anexo C). Esto para ilustrar la metodología.

### **13.6      DIAGRAMAS LOGICOS DE CRITICIDAD PARA EQUIPOS**

Para definir si un equipo es crítico para la seguridad de la planta se creó un cuadro lógico que se aplicó para cada familia de fluidos (Ver anexo D). Esto para ilustrar la metodología.

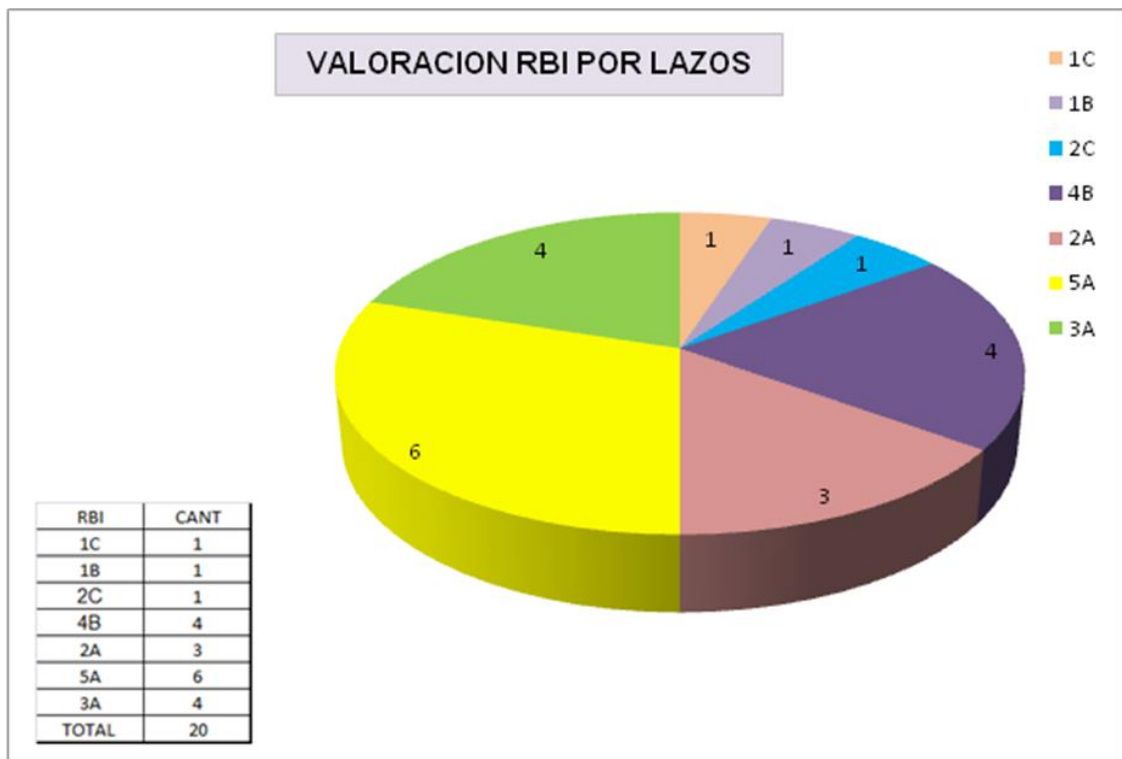
## 14. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

### 14.1 RESULTADO DE VALORACIÓN RBI POR LAZOS DE CORROSION.

De acuerdo a la norma API-580 y tomando como base la información disponible en la empresa Propilco S.A., las inspecciones realizadas a los sistemas definidos dentro de los anexos B y C, se presentan los resultados para cada categoría.

En la Figura 15 se muestra el resumen del análisis de riesgos de acuerdo a cada lazo de corrosión.

**Figura 15.** Valoración RBI por Lazos



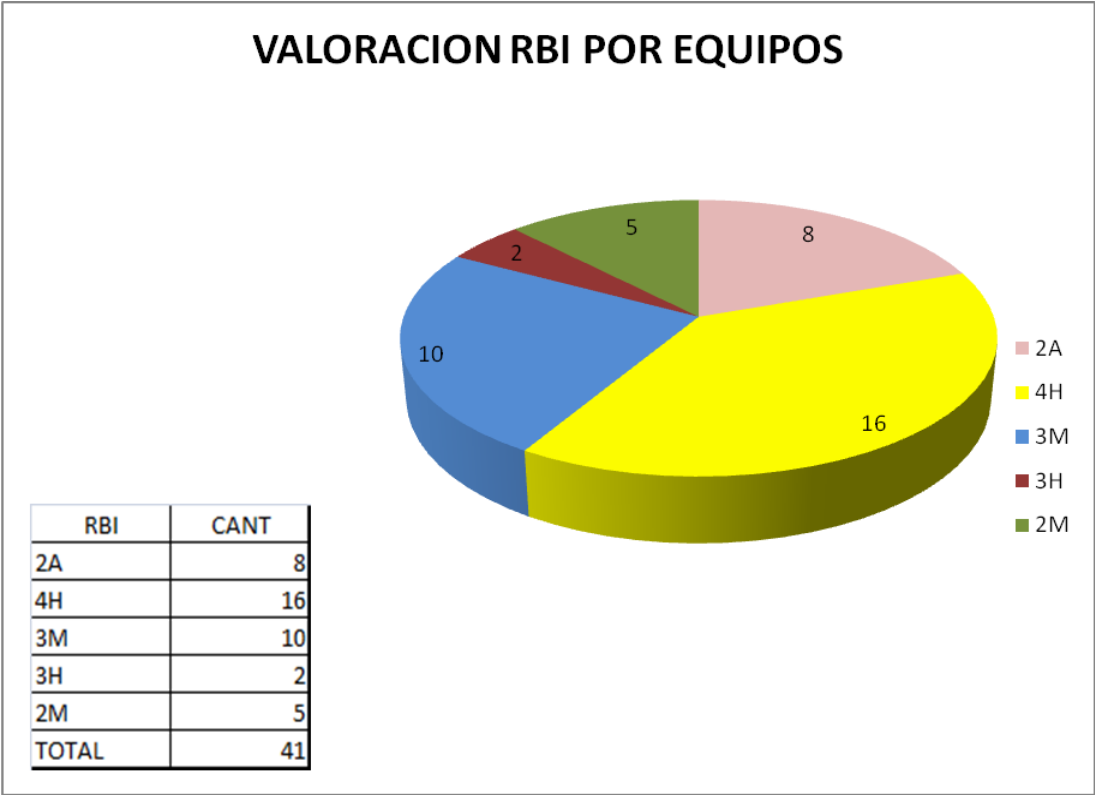
Fuente: Los Autores

De la anterior valoración se observa que el 20 % de los equipos se encuentran en un nivel de criticidad media donde se existen 6 equipos; los otros no revisten mayor riesgo por estar en una zona de criticidad nula de acuerdo a la matriz de riesgo.

### 14.2 VALORACION RBI POR EQUIPOS

El grafico muestra el resumen del análisis de riesgos de acuerdo a cada equipo.

**Figura 16.** Valoración RBI por Equipos

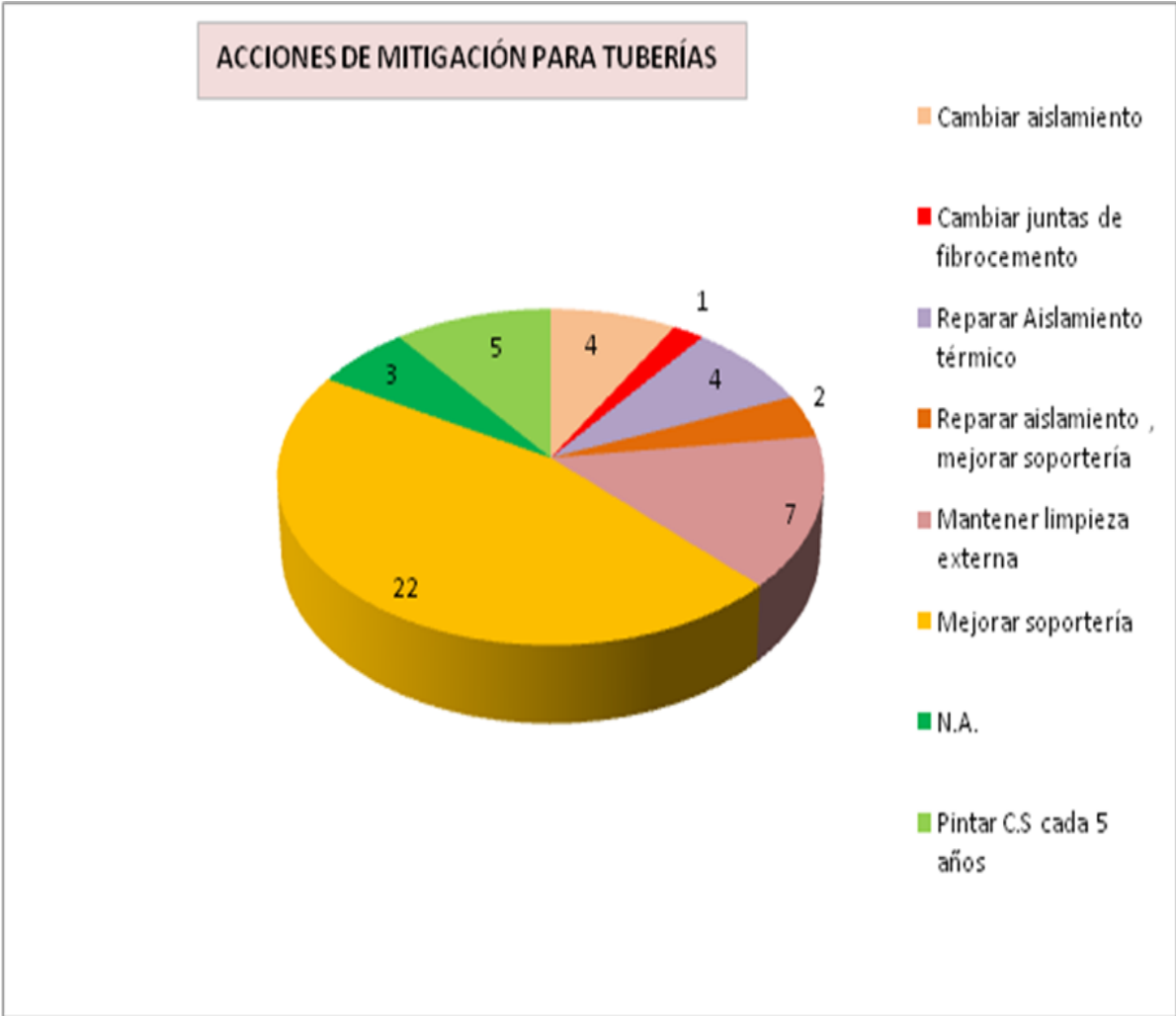


Fuente: Los Autores

En la anterior valoración cabe destacar que el 39 % de los equipos se encuentran en un nivel de criticidad media donde se encuentran 16 equipos; los otros no revisten mayor riesgo por estar en una zona de criticidad nula de acuerdo a la matriz de riesgos.

### 15. ACCIONES DE MITIGACION PARA TUBERIAS

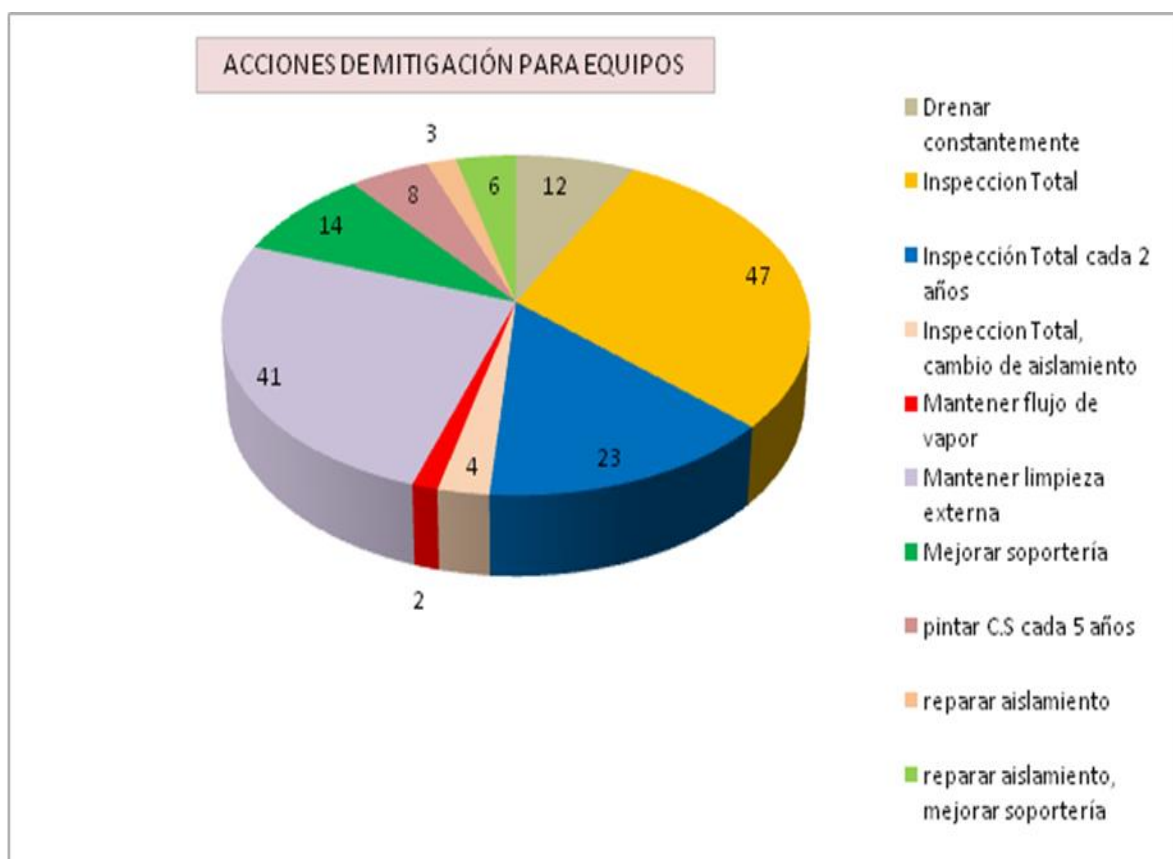
Figura 17. Valoración RBI para Tuberías



Fuente: Los Autores

## 16.ACCIONES DE MITIGACION PARA EQUIPOS

Figura 18. Acciones de Mitigación para equipos



Fuente: Los Autores

## 17. CONCLUSIONES

El análisis de “RBI” permite mejorar la confiabilidad de los equipos estáticos al permitir identificar de forma precisa los mecanismos de daño que los afectan y así aplicar las acciones de mitigación del riesgo que sean necesarias.

La recolección de información permite llevar un historial electrónico confiable que dará la oportunidad de tomar decisiones acertadas en casos de futuros mantenimientos. Esta información histórica y la información de las inspecciones se almacenarían en un CMMS.

El objetivo propuesto de tener un plan de mantenimiento definido con base a los riesgos se cumplió al definir las actividades y planes de inspección necesarios para detectar el deterioro de tuberías y recipientes de acuerdo a la probabilidad de riesgo, con el fin de garantizar la confiabilidad de los sistemas.

Con el programa se puede analizar la información de las inspecciones y teniendo en cuenta los datos de diseño se pueden calcular las tasas de corrosión y la vida remanente de los equipos, de igual forma los datos se ingresaran al programa Ultrapipe que se tiene en la compañía el cual basado en la matriz de riesgos, calcula la fecha de las próximas inspecciones.

Es necesario implementar a corto plazo el monitoreo de la corrosión interna en los equipos que se encuentran en el nivel de riesgo “medio-alto”, mediante el uso del análisis de “RBI” en todas las plantas de PROPILCO.

El Anexo E se muestra la programación de mantenimiento de los sistemas. De acuerdo con los resultados de la inspección basada en Riesgo aplicada a la planta N°2 de producción de polipropileno en la empresa Propilco, en la cual se observa una aplicación en las frecuencias de las actividades de mantenimiento, que era uno de los objetivos propuesto.

## 18. BIBLIOGRAFÍA

American Petroleum Institute, API RP 580, API Recommended Practice 580, Risk-Based Inspection, Primera Edición Mayo del 2002.

MENESES RAMIREZ, Edgard et. Inspección basada en el riesgo (IBR-API RP 580) Risk based inspection (RBI-API RP 580). Disponible en <[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13\\_n26/pdf2/a05v13n26.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a05v13n26.pdf)>

MORENO ESCUDERO, Edgar Duvan; RUBIANO SANCHEZ, Jairo Iván. Modelo de un plan de mantenimiento Basado en la metodología RBI (Inspección Basado en riesgo) para equipos críticos de una estación de de cargadero de Nafta. Monografía especialista gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías físico Mecánicas, 2010 100 P

## **ANEXOS**

**ANEXO A: CODIGO API-RP 580**

## **ANEXO B**

## **ANEXO B: LAZOS DE CORROSION**

| REPORTE DE ANALISIS DE TALLER RBI (RISK BASED INSPECTION)  |  |                      |                   |            |
|--|--|----------------------|-------------------|------------|
|  | FORMATO  |                      |                   | REPORTE No |
| PLANTA   | Nº2  | UNIDAD               | LAZO DE CORROSION | LZ-A-01    |
| DESCRIPCION DEL LAZO DE CORROSION:   |  | AGUA DE ENFRIAMIENTO |                   |            |
| <p>agua de torres de enfriamiento utilizada para enfriar intercambiadores. <b>E-0206</b>, PSV 122, 20K020-E1, 12"-WR-8906103-BB5CW, 12"-89006104, 3"-8906123, 3"-8906124, 3"-8906117, 3"-8906116, <b>20E021</b>, 16"-2008019, 16"-2008018, <b>40E011, 40E021, 40E005, 40E026, 40K020-E1.</b></p> |  |                      |                   |            |
| <b>1. PROCESO</b>  |  |                      |                   |            |
| DESCRIPCION  | Este lazo corresponde al agua de enfriamiento empleada para los intercambiadores de planta 2. El agua de enfriamiento es suministrada por las torres de enfriamiento planta 2. Mediante unas valvulas manuales se puede colocar algunos usuarios de planta 1 con estas torres. |                      |                   |            |
| BALANCE DE MATERIA   | pH 7,7- 7,8. Dureza 420 - 440. Conductividad 2700 - 3000. Cloro 0,3 - 0,4.   |                      |                   |            |
| SISTEMAS DE CONTROL  | La torre de enfriamiento cuenta con 5 bombas las cuales se emplean todas cuando se tiene el Reactor 2 arrancado, el resto del tiempo se trabaja con 4 bombas para suministrar el agua a los diferentes intercambiadores.   |                      |                   |            |
| PROCEDIMIENTO OPERACIÓN  | Las torres de enfriamiento en operación normal trabaja con 4 bombas en servicio y se arranca una quinta bomba cuando se coloca en servicio el Reactor 2. La calidad del agua de torres es controlada por el personal de Nalco.   |                      |                   |            |
| PROCEDIMIENTO ON/OFF   | Previo al arranque del Reactor 1 se tiene el sistema de agua de torres en servicio y cuando la planta se detiene hay que mantener 1 - 2 bombas de agua en servicio para asegurar un flujo de agua por los intercambiadores y evitar que se depositen sedimentos.               |                      |                   |            |
| PROCEDIMIENTO EMERGENCIA   | El agua de torres siempre se mantiene alineada a los intercambiadores para evitar sedimentacion.   |                      |                   |            |
| REGISTROS DE PROCESO   | Toma de datos operador campo, reporte de eventos reporte de turno campo, DCS y jefe de turno. Registro principales variables en el intellution.  |                      |                   |            |
| <b>2. VENTANAS OPERACIONALES</b>   |  |                      |                   |            |
| PRESION MAX/MIN  | 4,2 Barg / 3,8 barg  |                      |                   |            |
| TEMP MAX/MIN   | 35°C / 28° C   |                      |                   |            |
| FLUJO MAX/MIN  | 4400 m3/h.   |                      |                   |            |
| SISTEMAS SEGURIDAD   | El agua de torres siempre se mantiene alineada a los intercambiadores para evitar sedimentacion.   |                      |                   |            |
| SISTEMAS CONTROL   | Los intercambiadores del reactor 2 poseen un sistema de control de temperatura para regular el suministro de agua, el resto de intercambiador se mantiene alineada el agua.  |                      |                   |            |
| <b>3. MECANISMOS DE DEGRADACION</b>  |  |                      |                   |            |
| ADELGAZAMIENTO   | SI   |                      |                   |            |
| CORROSION POR FATIGA   | en soldaduras de bridas y soldaduras bimetalicas   |                      |                   |            |
| METALURGICOS   | corrosion ambiental, corrosion bacteriana, corrosion interna   |                      |                   |            |
| MECANICOS  | Vibracion  |                      |                   |            |
| OTROS  | daño estructural en soportes de concreto,  |                      |                   |            |
| MODOS DE FALLA   | Picadura, desgaste, grietas en soldaduras, grietas en concreto   |                      |                   |            |
| <b>4. SITIO</b>  |  |                      |                   |            |
| CLIMA  | AMBIENTE COSTERO 30°C  |                      |                   |            |
| TIEMPO   | MEDIA HUMEDAD  |                      |                   |            |
| ACTIVIDAD SISMICA  | muy baja   |                      |                   |            |
| DENSIDAD PERSONAS  | 1 a 2 personas   |                      |                   |            |

## **ANEXO C**

## **ANEXO C: DIAGRAMAS LOGICOS DE CRITICIDAD PARA TUBERIAS**

### **TIPO DE INSPECCION Y FRECUENCIA**

#### **1. FLUIDO MANEJADO:**

Desde el punto de vista del fluido manejado y los materiales de construcción, está la tubería sujeta a deterioro interno de: (si la respuesta a alguno de los ítems es “sí”, entonces la tubería debe ser clasificada como en servicio corrosivo.)

- a. Corrosión: **NO**
- b. Erosión: **NO**
- c. Fatiga por corrosión: **NO**
- d. Corrosión bajo esfuerzos: **SI**
- e. Otros (turbulencia, etc): **SI**

#### **2. ESTA LA TUBERIA SUJETA A DETERIORO EXTERNO POR:**

- a. Corrosión: **SI**
- b. Erosión: **NO**
- c. Impacto: **SI**
- d. CUI: **NO**
- e. Otros: N.A

#### **3. MODOS MAS PROBABLES DE DETERIORO SEGUN ITEMS 1 Y 2: (LISTAR EN ORDEN DEL MAS ALTO RIESGO)**

- a. CORROSION BAJO ESFUERZOS
- b. TURBULENCIA, VIBRACION
- c. CORROSION EXTERNA
- d. IMPACTO

4. Requerimientos y procedimientos de inspección:

En el anexo "B", verifique todos los requerimientos de inspección visual aplicables

5. Puede ejecutarse la inspección con la tubería en operación? Si   X   no

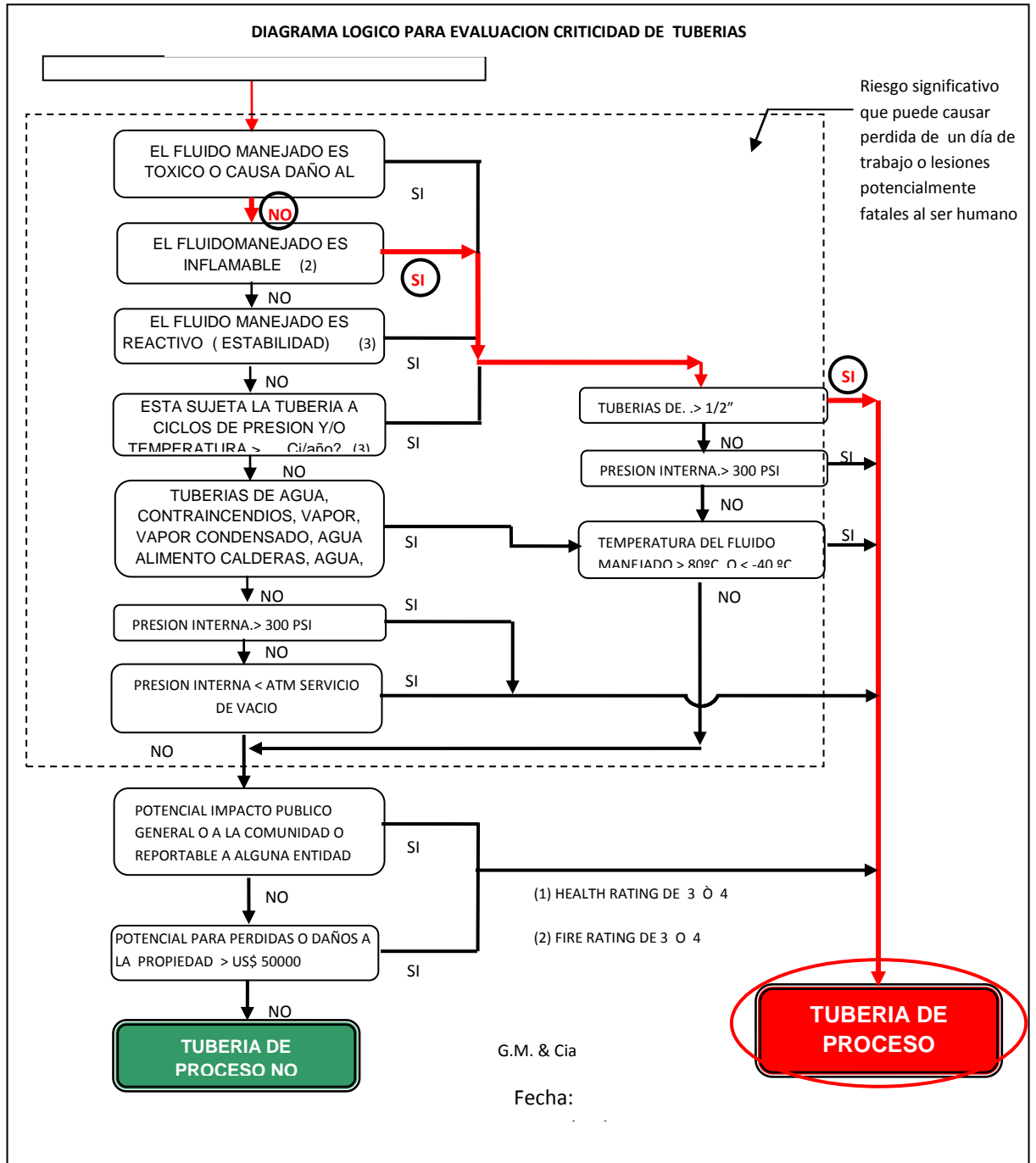
\_\_\_\_\_

6. Rata de corrosión (si es aplicable) :

7. Frecuencia de inspección:

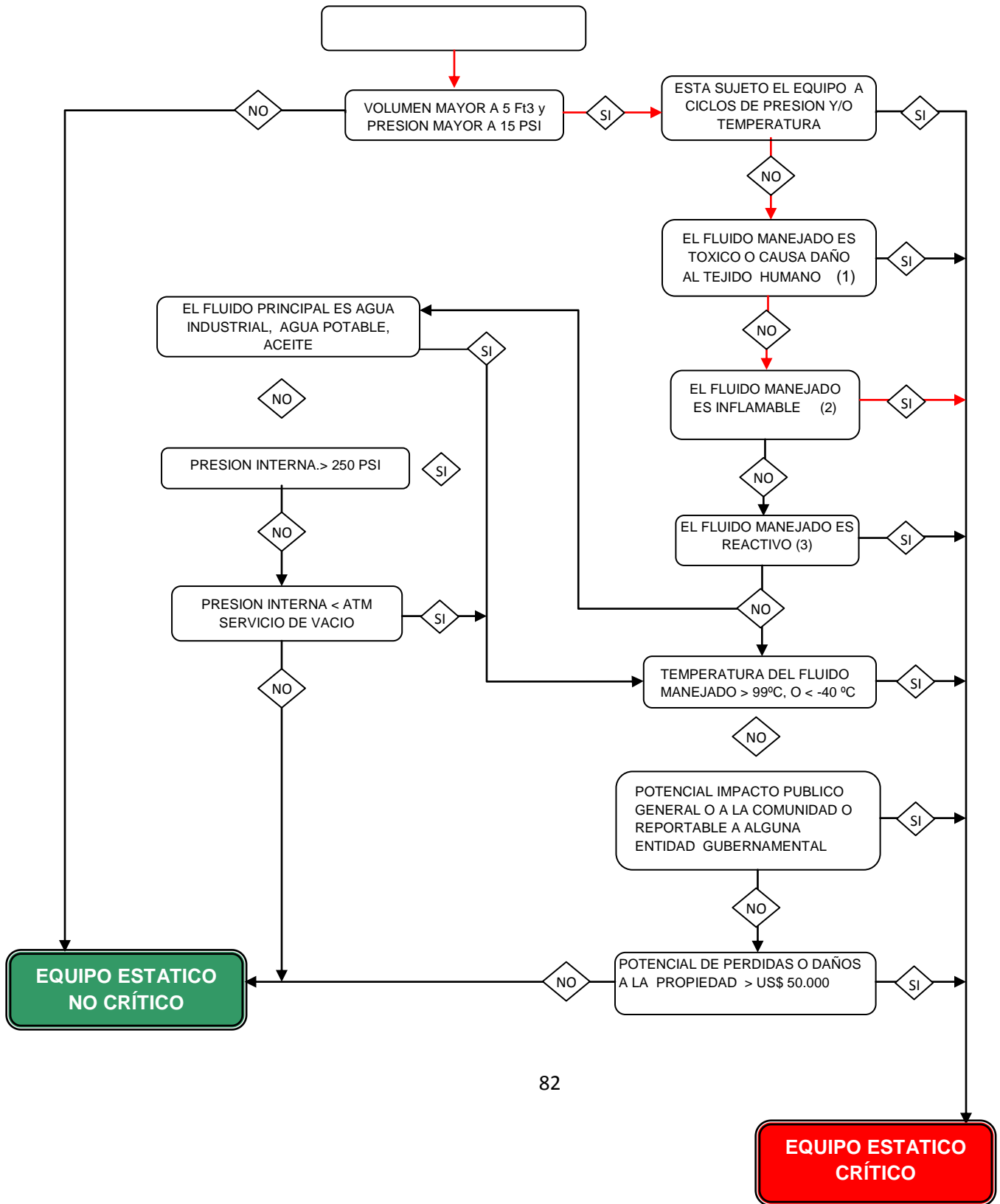
| MODO DE DETERIORO        | CLASES DE INSPECCION REQUERIDA |             |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|
|                          | UT SHEAR                       | UT STRAIGHT | RT | VT | PT | MT | HT | IT |
| CORROSION BAJO ESFUERZOS | X                              |             |    | X  | X  | X  |    |    |
| CORROSION EXTERNA        |                                | X           |    | X  |    |    |    |    |
| TURBULENCIA, VIBRACION   |                                |             |    | X  | X  |    |    |    |
| IMPACTO                  |                                |             |    | X  |    |    |    |    |

DIAGRAMA LOGICO PARA EVALUACION CRITICIDAD DE TUBERIAS



## **ANEXO D**

## ANEXO D: DIAGRAMAS LOGICOS DE CRITICIDAD PARA EQUIPOS



**ANEXO E:**

## ANEXO E: Plan de Inspección y Mantenimiento de acuerdo con el RBI

Add/Rename/Delete Master Equipment -- 3803 Total Equipment.

| PLANT    | Eq/Circ ID     | Section | Eq Type | Description    | Design Code No. | LAZO No | RBI CLASS | Service | P&ID No |
|----------|----------------|---------|---------|----------------|-----------------|---------|-----------|---------|---------|
| PLANTA 2 | 2"-SL-2006220  | PP1     | PIPING  | STEAM PIPELINE | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B2006.2 |
| PLANTA 2 | 2"-SL-2006221  | PP1     | PIPING  | STEAM PIPELINE | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B2006.2 |
| PLANTA 2 | 2"-SL-2105105  | RACK    | PIPING  | STEAM PIPING   | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B8904   |
| PLANTA 2 | 2"-SL-2123005  | RACK    | PIPING  | STEAM PIPING   | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B8904   |
| PLANTA 2 | 2"-SL2-2001054 | PP1     | PIPING  | STEAM PIPELINE | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B2001.2 |
| PLANTA 2 | 2"-SL3-2105082 | PP2     | PIPING  | STEAM PIPING   | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B2105   |
| PLANTA 2 | 2"-SL-4003079  | PP5     | PIPING  | STEAM PIPING   | ASME B31.3      | LZ-V-01 | 3C        | STEAM   | B4003.1 |
| PLANTA 2 | 2"-WR-2011012  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WR-2011026  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WR-2011035  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WR-2011037  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WR-8906108  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2012   |
| PLANTA 2 | 2"-WR-8906116  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2012   |
| PLANTA 2 | 2"-WS-2011013  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WS-2011025  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WS-2011036  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2011   |
| PLANTA 2 | 2"-WS-8906107  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2012   |
| PLANTA 2 | 2"-WS-8906115  | PP1     | PIPING  | WATER PIPING   | ASME B31.3      | LZ-A-01 | 2C        | WATER   | B2012   |

Master Equipment Entry

PLANT: PLANTA 2    Eq/Circ ID: 3"-WR-2010028    Section: PP1    Type: PIPING

Description: WATER PIPING

Design Code No.: ASME B31.3

LAZO No: LZ-A-01

RBI CLASS: 2C

Service: WATER

PID No: B2010

OK    Cancel

Configuration Edit View Window Help

PLANT: PLANTA 2    Eq/Circ ID: 2"-NH-881076    Section: PP1    Eq Type: PIPING

Des. Code: B31.3    Service: N2    Class: 2    RBI(U): 2C    Flange(U): 0    1b/in<sup>2</sup>

Op. Pres.: 15 lb/in<sup>2</sup>    Des. Pres.: 29 lb/in<sup>2</sup>    Op. Temp.: 149 °F    Des. Temp.: 212 °F

TML Type: Numeric    Description: N2 PIPELINE    Corr Allow: 0.0000 mm

TML No.: 1.01    Location: 1 NORTH    Comp. Code: PIPE    Size: 2.000 in    Mat'l Code: CA42    Non Thick: 3.91 mm    Date Built: 07/09/2009    T-Min(S): 3.05 mm

Mat Spec: A53    Mat Grade: B    Eff: 1.00

Info...    Renum...    Copy...    Delete    Edit...    I-Min...

| TML  | Location | Comp Code | Size  | Mat Spec | Grade | Eff  | Nom Date   | Nom  | Last Thk | T-Min | Flg | Last Insp  | TML CR | Act |
|------|----------|-----------|-------|----------|-------|------|------------|------|----------|-------|-----|------------|--------|-----|
| 1.01 | 1 NORTH  | PIPE      | 2.000 | A53      | B     | 1.00 | 07/09/2009 | 3.91 | 4.03     | 3.05  | S   | 11/05/2011 | 0.003  | A   |
| 1.02 | 1 EAST   | PIPE      | 2.000 | A53      | B     | 1.00 | 07/09/2009 | 3.91 | 4.04     | 3.05  | S   | 11/05/2011 | 0.003  | A   |
| 1.03 | 1 SOUTH  | PIPE      | 2.000 | A53      | B     | 1.00 | 07/09/2009 | 3.91 | 4.02     | 3.05  | S   | 11/05/2011 | 0.003  | A   |
| 1.04 | 1 WEST   | PIPE      | 2.000 | A53      | B     | 1.00 | 07/09/2009 | 3.91 | 4.02     | 3.05  | S   | 11/05/2011 | 0.003  | A   |

Eq Insp Due: 11/05/2019  
Eq Ret Date: 16/01/2394  
Eq Life: 382.7 yr  
Eq Rep CR: 0.003 mm/yr

## 1. PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

| DESCRIPCIÓN | Corr.Ext.<br>(Años) | CUI<br>(Años) | SCC<br>(Años) | Creep<br>(Años) | Frágil<br>(Años) |
|-------------|---------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| C-4001      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| C-4301      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| E-5268      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| C-2001      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| C-2008      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| C-0250      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20R020      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20R010      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20D050      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20D051      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20F023      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20F022      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20F051      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20F012      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20U050      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20T001      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20T002      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 20F011      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 01F005      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |
| 21D040      | 5                   | 5             | N/A           | N/A             | N/A              |

## 2. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

| DESCRIPCIÓN | Corr. Ext.<br>(Años) | CUI<br>(Años) | SCC<br>(Años) | Creep<br>(Años) | Frágil<br>(Años) | TIPO DE INSPECCION    |                                   |                      |             |
|-------------|----------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|
|             |                      |               |               |                 |                  | Tintas<br>Penetrantes | Medicion de<br>Espesores<br>(TMI) | Inspeccion<br>Visual | Aislamiento |
| LZ-A-01     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-A-02     | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-A-03     | 2                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-AC-01    | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-AC-02    | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-AL-01    | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-AL-02    | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-C-01     | 2                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-E-02     | 3                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-E-04     | 2                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-E-06     | 4                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-H-01     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-N-01     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-P-02     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-P-03     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-P-09     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-R-02     | 2                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-V-01     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-V-02     | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |
| LZ-V-03     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                 | X                    | X           |

### 3. PRÓXIMA INSPECCION DE ACUERDO CON EL ANÁLISIS

| DESCRIPCIÓN | Corr. Ext.<br>(Años) | CUI<br>(Años) | SCC<br>(Años) | Creep<br>(Años) | Frágil<br>(Años) | TIPO DE INSPECCION    |                                  |                      |             | Corr. Ext.<br>Prox. Inspecc. |
|-------------|----------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|-------------|------------------------------|
|             |                      |               |               |                 |                  | Tintas<br>Penetrantes | Medición de<br>Espesores<br>(mm) | Inspeccion<br>Visual | Aislamiento |                              |
| LZ-A-01     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-A-02     | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-A-03     | 2                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2015                         |
| LZ-AC-01    | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-AC-02    | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-AL-01    | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-AL-02    | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-C-01     | 2                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2015                         |
| LZ-E-02     | 3                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2016                         |
| LZ-E-04     | 2                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2015                         |
| LZ-E-06     | 4                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2017                         |
| LZ-H-01     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2015                         |
| LZ-N-01     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-P-02     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2016                         |
| LZ-P-03     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 20016                        |
| LZ-P-09     | 3                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2016                         |
| LZ-R-02     | 2                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2015                         |
| LZ-V-01     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-V-02     | 5                    | 4             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |
| LZ-V-03     | 5                    | 5             | N/A           | N/A             | N/A              | X                     | X                                | X                    | X           | 2018                         |