

**GUÍA DE MANEJO, ALMACENAMIENTO Y PRESERVACIÓN DE EQUIPO
ROTATIVO PARA PROYECTOS**

AUTORES:

**DUVAN OSWALDO ACEVEDO BUENO
SHIRLEY LISSETTE CARRERO LUNA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA
2016**

**GUÍA DE MANEJO, ALMACENAMIENTO Y PRESERVACIÓN DE EQUIPO
ROTATIVO PARA PROYECTOS**

**DUVAN OSWALDO ACEVEDO BUENO
SHIRLEY LISSETTE CARRERO LUNA**

**Proyecto de grado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Metalúrgico**

Director

Ing. AFRANIO A. CARDONA GRANADOS

Ing. Metalúrgico. Ingeniería Metalúrgica y ciencia de los materiales

Codirector

Msc MBA ROSSVAN JOHAN PLATA VILLAMIZAR

ECOPETROL S.A.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento de esta tesis de grado va dirigido en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente.

Quiero agradecer al soporte de todo a lo largo de mi vida, a mi familia, en especial a mis padres, que quienes con sus consejos fueron mi motor de arranque y constante motivación, muchas gracias por su comprensión, estabilidad, paciencia y sobre todo por su amor.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi hermano, y a nuestro tutor de proyecto, quienes con su conocimiento y guía fueron pieza clave para avanzar en cada etapa durante el desarrollo del trabajo.

A mis compañeros, con quienes durante la carrera fuimos fortaleciendo un lazo de amistad, gracias por toda su colaboración.

A Ecopetrol S.A y a la Universidad industrial de Santander por su confianza en este proceso.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.” Mahatma Gandhi.

Duvan Oswaldo Acevedo Bueno

CONTENIDO

1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 MÁQUINAS ROTATIVAS	14
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS	14
2.2.1 Equipos rotativos conductores	14
2.2.2 Equipos rotativos conducidos.....	15
2.3 GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS	15
2.3.1 Turbinas a vapor	15
2.3.2 Turbinas a gas	16
2.3.3 Motores eléctricos	16
2.3.4 Motores de combustión interna (a gas, diésel y combustóleo).....	16
2.3.5 Bombas	16
2.3.6 Compresores.....	17
2.4 TERMINOLOGÍA	17
2.5 Aspectos a tener en cuenta para la elaboración de un estándar	18
3. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA “GUÍA PARA EL MANEJO, ALMACENAMIENTO Y PRESERVACIÓN DE EQUIPO ROTATIVO ADQUIRIDO A TRAVÉS DE PROYECTOS”	20
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS QUE SE DESEAN ESTANDARIZAR	21
3.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	21
3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	21
3.3.1 Equipos a los cuales aplica el estándar	22
3.3.2 Modos de falla de equipo rotativo asociados a manejo, almacenamiento e instalación en situ (campo)	22
3.3.3 Normatividad internacional.....	23
3.3.4 Mejores prácticas sobre almacenamiento en la industria.....	24
3.3.5 Recomendaciones del fabricante	24

3.3.6	Documentos existentes ECOPETROL S.A.	25
3.4	ETAPA FINAL DE LA METODOLOGÍA.....	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1	Modos de falla comunes en los equipos rotativos asociados a manejo, almacenamiento e instalación de equipos rotativos.....	26
4.1.1	Daños por corrosión.....	27
4.1.2	Daños por caídas.....	28
4.1.3	Daños por inestabilidad térmica.....	28
4.1.4	Daños por excesos de temperatura (alta o baja).....	29
4.1.5	Daños por humedad o sequedad.....	29
4.1.6	Daños por polvo o partículas extrañas.....	30
4.1.7	Daños por contaminación (vapores o gases especialmente).....	30
4.1.8	Daños por afectación biológica debidos a vegetación, micro-organismos, insectos, aves, reptiles y roedores.....	31
4.1.9	Pérdida parcial, total o robo.....	32
4.1.10	Daños por una instalación inadecuada o no preservación.....	32
4.1.11	Daños por golpes o rayaduras.....	32
4.2	DESARROLLO.....	33
4.2.1	Seguridad en las bodegas y patios de almacenamiento.....	33
4.2.2	Actividades preventivas en la operación de las bodegas y patios de almacenamiento de equipo rotativo.....	35
4.2.3	Etapas del plan de preservación de equipo rotativo en bodega.....	36
4.2.4	Recomendaciones de preservación de maquinaria rotativa.....	36
4.3	PRESERVACIÓN DE EQUIPOS ROTATIVOS INSTALADOS EN CAMPO DURANTE LOS PROYECTOS.....	39
4.3.1	Preservación durante el precomisionamiento y comisionamiento de equipos rotativos.....	41
5.	CONCLUSIONES.....	43
6.	RECOMENDACIONES.....	44
7.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	46
	BIBLIOGRAFÍA.....	48

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Aspectos considerados para la creación del estándar.....	12
Figura 2 Esquemático de equipos rotativos.....	14
Figura 3 Diagrama de flujo para la elaboración del estándar titulado “Guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipo rotativo adquirido a través de proyectos.....	20
Figura 4 Motor afectado por la corrosión, producto de un deficiente plan de preservación durante el almacenamiento. ¹	28
Figura 5 Corrosión biológica o microbiana ²	31
Figura 6 Presencia de material biológico en los diferentes equipos almacenados en campo ³	31
Figura 7 Proceso de preservación materiales, repuestos, equipos y componentes en las bodegas y patios de almacenamiento	36

RESUMEN

TITULO:

GUÍA DE MANEJO, ALMACENAMIENTO Y PRESERVACIÓN DE EQUIPO ROTATIVO PARA PROYECTOS

AUTORES:

Duvan Oswaldo Acevedo Bueno

Shirley Lissette Carrero Luna

PALABRAS CLAVES:

Preservación, almacenamiento, equipo rotativo, bodegas, proyectos.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo de grado se centró en definir, a través de un documento estándar tipo guía, los requerimientos y recomendaciones necesarios para el manejo, almacenamiento y preservación de equipos rotativos durante la ejecución de los proyectos de Ecopetrol S.A.

El objetivo de este documento es garantizar la integridad de los equipos desde su llegada a la empresa hasta el momento de su puesta en operación, evitando así su afectación debido a fenómenos metalúrgicos y mecánicos; entre estos se encuentran la corrosión, deformación y atascamiento de los respectivos componentes de los equipos, los cuales normalmente comprometen su disponibilidad y confiabilidad.

En la elaboración del estándar, este trabajo incluyó los parámetros necesarios para la elaboración del documento tipo guía, se identificaron los modos de falla asociados a la no preservación de los equipos, la normativa internacional del sector de hidrocarburos (Oíl & Gas) aplicable, las recomendaciones de los fabricantes, y los documentos existentes en ECOPETROL S.A; Adicionalmente se tuvo en cuenta las condiciones de seguridad en campo, patios y bodegas de almacenamiento.

Como resultado de los análisis realizados con este trabajo de grado, se integraron una serie de actividades y recomendaciones en un único documento, el cual finalmente fue titulado *“Guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipo rotativo adquirido a través de proyectos”*.

SUMMARY

TITLE:

GUIDE TO HANDLING, STORAGE AND PRESERVATION OF ROTARY EQUIPMENT FOR PROJECTS

AUTHORS:

Duvan Oswaldo Acevedo Bueno

Shirley Lissette Carrero Luna

KEY WORDS:

Preservation, storage, maintenance, lubrication, temperature.

DESCRIPTION:

This degree work focused on defining, through a standard guideline document, the requirements and recommendations necessary for the management, storage and preservation of rotating equipment during the execution of the projects of Ecopetrol S.A.

The objective of this document is to guarantee the integrity of the equipment from its arrival to the company until the moment of its commissioning, thus avoiding its affectation due to metallurgical and mechanical phenomena. These include corrosion, deformation and binding of the respective components of the teams which normally compromise its availability and reliability.

In the elaboration of the standard, this work included the necessary parameters for the elaboration of the guideline type document, the failure modes associated to the non-preservation of the equipment, the applicable international hydrocarbons (Oil & Gas) regulations, Recommendations of the manufacturers, and the existing documents in ECOPETROL SA; In addition, the security conditions in the field, patios and storage warehouses were taken into account.

As a result of the analyzes carried out with this work of degree, they integrated a series of activities and recommendations were integrated into a single document, which was finally entitled "Guide for the management, storage and preservation of rotating equipment acquired through projects".

INTRODUCCIÓN

En la ejecución de los proyectos de ECOPETROL S.A es necesaria la compra de equipos rotativos, cuyo almacenamiento, instalación y puesta en operación en algunas ocasiones requiere de mayores tiempos. Este hecho conlleva a que los equipos deban ser almacenados por más tiempo hasta el momento en que son instalados, incluyendo el tiempo de duración en campo hasta su puesta en servicio.

Durante el almacenamiento e instalación de los equipos rotativos se pueden presentar daños o fallas prematuras que pueden afectar su futura operación, integridad y confiabilidad. Para evitar este problema es necesario definir las actividades de manejo, almacenamiento y el plan de preservación de los equipos, para evitar deficiencias en sus diferentes elementos y componentes.

Para la eliminación del problema expuesto anteriormente se elaboró un documento estándar tipo guía, el cual indica los procedimientos y actividades a seguir para garantizar la integridad de los equipos rotativos, teniendo en cuenta la seguridad de las personas y el cuidado del medio ambiente, durante las diferentes etapas de recepción, almacenamiento, instalación y puesta en servicio de los equipos en los proyectos de Ecopetrol S.A.

Figura 1 Aspectos considerados para la creación del estándar.



1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

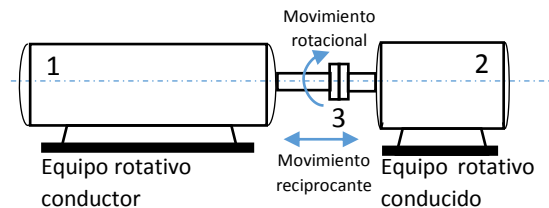
Desarrollar un estándar técnico para ECOPETROL S.A. que defina los requerimientos y recomendaciones mínimos para el manejo, almacenamiento y preservación de los equipos rotativos durante las diferentes etapas de ejecución de un proyecto, es decir desde el momento en que los equipos son almacenados, instalados, se mantienen fuera de servicio u operación, durante el precomisionamiento, comisionamiento, pruebas y entrada en servicio, para garantizar su integridad, evitando fenómenos como la corrosión, el atascamiento y la deformación de los componentes que comprometen la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria rotativa que se incorpora a la compañía a través de los proyectos de ECOPETROL S.A.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MÁQUINAS ROTATIVAS

Una máquina rotativa o un equipo rotativo, es un dispositivo o aparato que puede ser mecánico o eléctrico, el cual puede transformar energía potencial, mecánica, térmica, eléctrica, eólica o mareomotriz en un movimiento rotacional o recíprocante. Ver figura 2

Figura 2 Esquemático de equipos rotativos



El propósito de este movimiento es producir electricidad (Generar energía), mover un fluido de un punto a otro (bombear), comprimir un gas, mezclar fluidos (blending), soplar aire a hornos y calderas (sopladores) y enfriar o calentar agua (ventiladores), entre otras aplicaciones.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS

2.2.1 Equipos rotativos conductores

Son los equipos que generan el movimiento rotativo o recíprocante, el cual es transmitido a través de un eje a una segunda máquina que puede ser rotativa o recíprocante.

Los equipos de este tipo utilizados en las plantas de ECOPETROL S.A son:

- Turbinas a vapor
- Turbinas a gas
- Motores eléctricos
- Motores de combustión interna (a gas, diésel y combustible)

2.2.2 Equipos rotativos conducidos

Son los equipos movidos por la máquina rotativa que genera el movimiento rotativo o reciprocante; estos son los que transforman la energía mecánica entregada por el eje del equipo rotativo conductor en otros tipos de energía, según lo descrito en el numeral 2.1 de este documento.

Lo equipos rotativos de este tipo utilizados en las plantas de ECOPETROL S.A son:

- Bombas.
- Compresores.
- Generadores de electricidad.
- Sopladores de aire.
- Mezcladores.
- Reductores y multiplicadores de velocidad (cajas de engranajes).
- Ventiladores de tiro forzado e inducido.

2.3 GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS

Equipos presentes en las diferentes sedes de ECOPETROL S.A.

2.3.1 Turbinas a vapor

Las turbinas a vapor convierten la energía térmica del vapor en trabajo mecánico a través de un intercambio de cantidad de movimiento. Se pueden

clasificar en turbinas de acción y reducción. Comercialmente se emplean ambas y en las grandes unidades una combinación de las dos [19].

2.3.2 Turbinas a gas

Es un aparato de conversión que convierte la energía almacenada en un combustible líquido y/o gaseoso en energía mecánica útil en forma de energía rotacional. El aire es absorbido hacia el interior de la turbina, donde se comprime, se mezcla con el combustible y se enciende [18].

2.3.3 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son capaces de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Estos se dividen Según el tipo de corriente que utilicen, motores de corriente alterna y motores de corriente continua [19].

2.3.4 Motores de combustión interna (a gas, diésel y combustóleo)

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible, el cual arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina misma [10].

2.3.5 Bombas

Una bomba es un equipo cuya función es convertir la energía mecánica en energía hidráulica. Generalmente se clasifican en bombas centrífugas y de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotativas) [19].

2.3.6 Compresores

Un compresor es un mecanismo accionado por una fuerza motriz para elevar la presión de un gas, el cual actúa realizando un trabajo. Los compresores se fabrican en diversos tamaños y diseños para satisfacer las diferentes exigencias de las aplicaciones industriales, comerciales y domésticas [19].

Los compresores se clasifican en centrífugos o de desplazamiento positivo (reciprocante, rotativo, de tornillo, de lóbulos y de paletas).

2.4 TERMINOLOGÍA

- **Preservación:** Mantenimiento preventivo llevado a cabo en los equipos almacenados antes de su utilización para garantizar su integridad.

- **Estándar técnico:** Documento desarrollado por un referente internacional, nacional o de la industria, que provee requerimientos y especificaciones que pueden ser usadas de forma consistente, con el fin de asegurar que los materiales, equipos, procesos y servicios se ajusten a su propósito. (Tomado del documento PDO-P-001 Procedimiento para la elaboración y control de documentos de ECOPETROL S.A.)

- **Guía:** Documento que se orienta a establecer condiciones, indicaciones y recomendaciones relacionadas con temas transversales o específicos o varios estándares técnicos de una misma especialidad, por lo tanto, no describe actividades secuenciales ni la forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso. (Tomado del documento PDO-P-001 Procedimiento para la elaboración y control de documentos de ECOPETROL S.A.)

- **Logística inversa:** La Logística Inversa consiste en el proceso de planificación, ejecución y control de la eficiencia y eficacia del flujo de las materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el fin de recuperar valor o la correcta eliminación [13].
- **Norsok standard:** Es una norma desarrollada por la industria petrolera noruega con el objetivo de medir la gestión de sus contratistas en seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente. El modelo es compatible con OHSAS 18001 e ISO 14001 aunque es más exigente que estas.

Esta es una nueva norma para las empresas que requieren estándares elevados de seguridad industrial como empresas petroleras de químicos, mineras e industriales [7].

2.5 Aspectos a tener en cuenta para la elaboración de un estándar

Para la elaboración de un estándar como paso inicial, se debe identificar si una actividad o proceso se ejecuta de forma masiva o es repetible y se hace la mayor parte del tiempo. E identificar las áreas en las cuales se aplican y así mediante un estudio inicial confirmar la conveniencia de estandarizar dichas actividades o procesos.

El estudio a realizar consiste en la recopilación de la información y el análisis de las actividades o procesos que se desean estandarizar, identificando las falencias en los procedimientos que actualmente se llevan a cabo para definir los objetivos y alcance sobre las actividades o procesos.

Es común que cada empresa trabaje con un formato ya establecido para la elaboración de sus propios documentos (formatos, guías, instructivos,

procedimientos), dichos formatos contienen los lineamientos que se deben seguir para la creación, actualización o modificación de dichos documentos y su aceptación. El estándar titulado “Guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipo rotativo adquirido a través de proyectos”, desarrollado para ECOPEPETROL S.A, se trabajó sobre el procedimiento definido por la empresa para la elaboración de documentos, el cual define los parámetros y lineamientos a seguir.

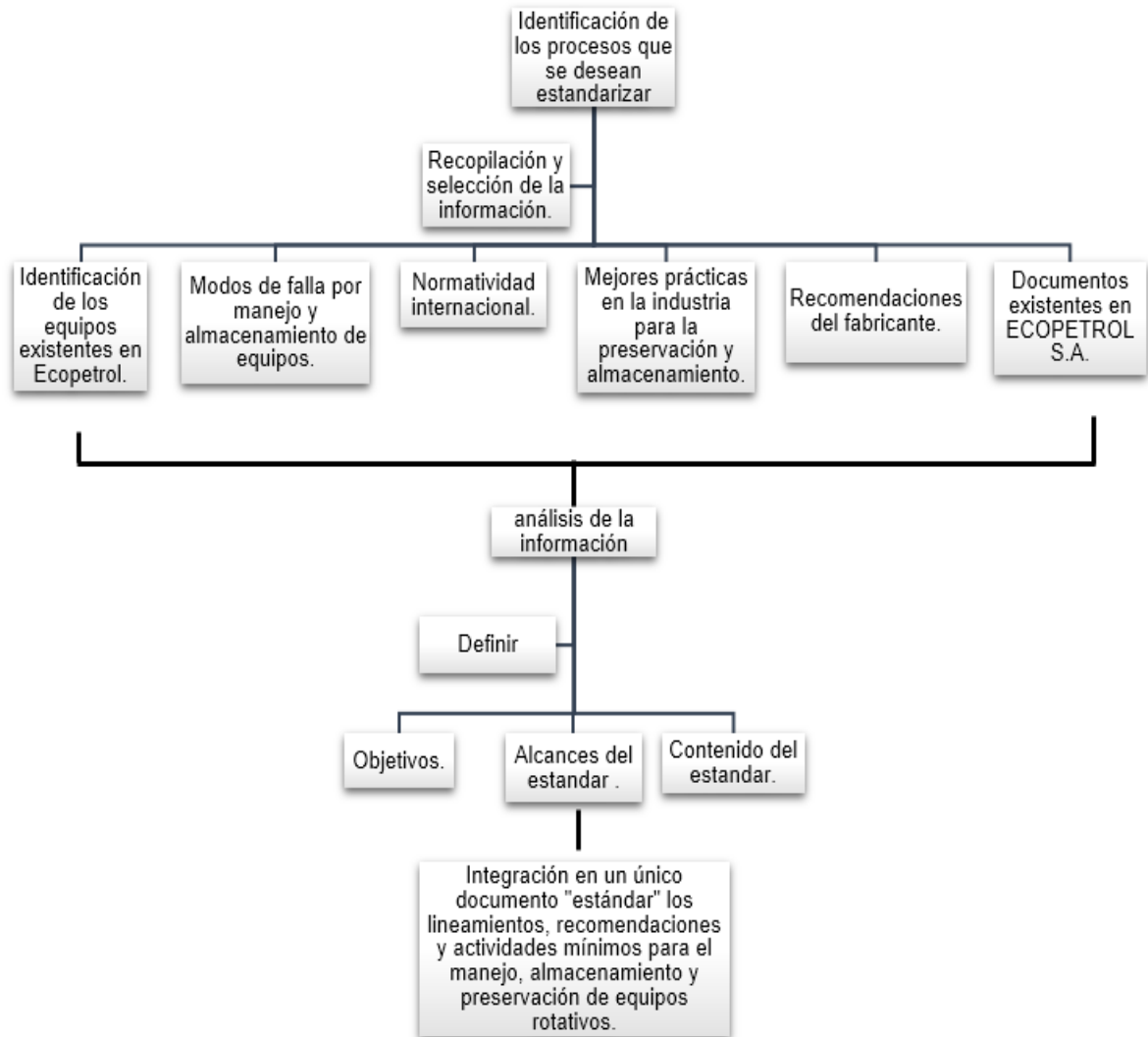
Tales como:

- Estructura del documento.
- Tamaño y fuente de la letra.
- Márgenes del documento.
- Marca de agua.

3. PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LA “GUÍA PARA EL MANEJO, ALMACENAMIENTO Y PRESERVACIÓN DE EQUIPO ROTATIVO ADQUIRIDO A TRAVÉS DE PROYECTOS”.

En la Figura 3 se presenta un esquema de la metodología utilizada para la elaboración del estándar en ECOPETROL S.A.

Figura 3 Diagrama de flujo para la elaboración del estándar titulado “Guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipo rotativo adquirido a través de proyectos.



3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS QUE SE DESEAN ESTANDARIZAR

Para solucionar los problemas relacionados con afectación metalúrgica y mecánica en los equipos rotativos, que se presentan durante la ejecución de los proyectos de ECOPETROL S.A., se definió como prioritario la creación de un documento que estandarice los requerimientos, lineamientos y actividades mínimos necesarios para el manejo, almacenamiento y preservación de los equipos rotativos; Durante las diferentes etapas (Precomisionamiento, comisionamiento, pruebas y entrada en servicio).

3.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la elaboración del estándar tipo guía, en esta etapa del proyecto se recopiló la información relacionada con el tipo de maquinaria que sufre las afectaciones mecánicas y metalúrgicas, los modos de fallas (daños) y las causas de dichas fallas.

Se identificaron los documentos existentes en ECOPETROL S.A., las normas del sector de hidrocarburos (Oíl & Gas) para el manejo, almacenamiento y preservación de maquinaria, las mejores prácticas en la industria y los manuales de los fabricantes.

3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se analizó y seleccionó la información requerida para la elaboración del estándar tipo guía, valorando la calidad y aplicabilidad de los documentos, finalmente se interpretaron los datos con el propósito de definir el contenido del estándar, siguiendo los lineamientos de tipo documento de ECOPETROL S.A.

Se identificaron los modos de falla típicos, que se presentan en los equipos rotativos desde el almacenamiento hasta la puesta en funcionamiento, durante la

ejecución de los proyectos. Se analizó que ocasiona dichas fallas y se identificó que es necesario estandarizar en un único documento; recomendaciones, lineamientos y actividades, que se deben ejecutar sobre cada equipo para garantizar su integridad.

3.3.1 Equipos a los cuales aplica el estándar

El tipo de maquinaria de interés para la elaboración del estándar corresponde a los equipos rotativos comunes en las diferentes plantas de ECOPETROL S.A. y que son adquiridos a través de los nuevos proyectos de la empresa. Ver numeral 2.2 del presente documento.

3.3.2 Modos de falla de equipo rotativo asociados a manejo, almacenamiento e instalación en situ (campo)

Con base en el objetivo de este libro fue necesario identificar los modos de fallas típicos que se presentan en los equipos rotativos durante la ejecución de los proyectos de ECOPETROL S.A., desde el momento en que estos equipos llegan a las bodegas y patios de almacenamiento hasta su puesta en servicio.

Durante las actividades de ejecución de un proyecto se presentan condiciones que pueden deteriorar e incluso ocasionar pérdida total de un equipo, sus repuestos o componentes y materiales asociados, motivo por el cual se deben realizar los análisis de riesgos necesarios que permitan identificar aquellas situaciones que ocasionen daño en los equipos para su mitigación y/o eliminación.

Las condiciones que pueden afectar los equipos son: el tiempo de almacenamiento, la temperatura, la humedad, la luz o radiación solar, contaminación con partículas y atmosferas contaminantes, las condiciones de orden y aseo y las prácticas de manejo y almacenamiento de equipos, materiales, componentes y repuestos.

3.3.3 Normatividad internacional

Existe poca reglamentación específica sobre almacenamiento de materiales, repuestos, equipos y componentes en campo, bodegas y patios de almacenamiento. La legislación existente en Colombia sólo contempla disposiciones que se refieren a las sustancias y productos químicos.

A continuación, se indican algunas normas en el sector de hidrocarburos (Oil & Gas) que son aplicables para el manejo, almacenamiento y preservación de maquinaria.

Norma	Alcance
API 686 (American Petroleum Institute)	Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design (chapter 3 Jobsite Receiving and Protection)
NORSOK STANDARD Z-006	Preservation

Para los proyectos, la norma API 686, capítulo 3 define los requerimientos mínimos para la protección contra el deterioro de la maquinaria y sus componentes, los cuales aplican para equipo rotativo, durante el almacenamiento en campo, después de la instalación y durante el período previo a la puesta en marcha. Aplica para las bodegas de gastos cuando se adquieren equipos y componentes nuevos para la operación de las plantas.

La norma NORSOK Z-006 define los principios y la estructura para asegurar que los equipos y sistemas sean preservados durante las fases del proyecto, antes de que entre en uso. Aplica para equipo rotativo.

En todos los casos para definir las actividades de preservación de equipo rotativo se deben tener en cuenta en primera instancia las recomendaciones de los fabricantes y los estándares de fabricación según aplique (cuando estos definen actividades de preservación en el almacenamiento, pre-comisionamiento y comisionamiento).

Nota: En caso de que las recomendaciones del fabricante vayan en contravía con lo descrito en las normas deben primar siempre las recomendaciones del fabricante. Esto para evitar la pérdida de la garantía de los equipos.

3.3.4 Mejores prácticas sobre almacenamiento en la industria

En general hay poca información específica sobre almacenamiento de materiales, repuestos, equipos, y componentes en las bodegas y en campo; por lo tanto, lo relacionado a estos, se basa en las recomendaciones de los fabricantes, los criterios técnicos y las normas internacionales (ver numeral 3.3.3). También se incluye la valoración de riesgos y las acciones de mitigación y/o eliminación de los daños asociados al manejo, almacenamiento e instalación de equipos rotativos en los proyectos de ECOPETROL S.A.

3.3.5 Recomendaciones del fabricante

Para la elaboración del estándar se tuvieron en cuenta las recomendaciones de los fabricantes para definir los lineamientos y las actividades necesarias para garantizar la integridad de los equipos desde su almacenamiento hasta la puesta en operación en los proyectos.

Es importante aclarar que siempre priman las recomendaciones del fabricante sobre el estándar, en caso de presentarse diferencias entre uno y otro. Esto se debe a que se puede provocar la pérdida de la garantía del equipo por no acatar las recomendaciones del fabricante.

3.3.6 Documentos existentes ECOPETROL S.A.

Los documentos existentes en ECOPETROL S.A. fueron consultados para la elaboración de los diferentes capítulos contenidos en el estándar; estos suministraron información útil sobre algunos lineamientos y actividades que se deben llevar a cabo en los proyectos durante el manejo, almacenamiento e instalación de equipos para garantizar su integridad.

Se tuvieron en cuenta los documentos relacionados con seguridad industrial, considerando que durante la ejecución de las actividades definidas en el estándar se pueden presentar afectaciones a las personas, los equipos y el medio ambiente.

3.4 ETAPA FINAL DE LA METODOLOGÍA

Después del análisis de la información se definen los objetivos, los alcances, y el contenido que a incluir en el estándar tipo guía para su integración en un único documento que defina los parámetros y requerimientos mínimos para el manejo, almacenamiento y preservación de los equipos rotativos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del estudio aplicado, se obtuvo un estándar tipo guía, que cumple con los lineamientos de tipo documental de ECOPETROL S.A.

Este fue entregado para su implementación y uso como documento guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipos rotativos durante la ejecución de los proyectos, el cual consta de sesenta (60) páginas, las cuales contienen las recomendaciones y acciones a seguir para garantizar la integridad de los equipos en los proyectos de ECOPETROL S.A., el documento se estructuró de la siguiente forma:

1. OBJETIVOS
2. ALCANCE
3. GLOSARIO
4. DOCUMENTOS DEROGADOS
5. REFERENCIAS NORMATIVAS
6. CONDICIONES GENERALES
7. DESARROLLO
8. PRESERVACION DE EQUIPOS ROTATIVOS INSTALADOS EN CAMPO DURANTE LOS PROYECTOS
9. CONTINGENCIAS
10. REGISTROS

4.1 Modos de falla comunes en los equipos rotativos asociados a manejo, almacenamiento e instalación de equipos rotativos.

Para los equipos rotativos de los proyectos de Ecopetrol S.A. se identificó su susceptibilidad a los siguientes daños:

- Daños por corrosión
- Daños por caídas
- Daños por inestabilidad térmica
- Daños por excesos de temperatura (alta o baja)
- Daños por humedad o sequedad
- Daños por polvo o partículas extrañas
- Daños por contaminación (vapores o gases especialmente)
- Daños por afectación biológica debidos a vegetación, micro-organismos, insectos, aves, reptiles y roedores
- Pérdida parcial o robo
- Daños por una instalación incorrecta
- Daños por golpes o rayaduras

4.1.1 Daños por corrosión

Las condiciones de humedad y agentes corrosivos en el ambiente en los lugares de almacenamiento de los equipos, causan fenómenos o reacciones químicas en la superficie de los equipos lo cual conlleva a una degradación e incluso perdida de los equipos o a las partes afectadas de este.

La corrosión de los equipos es bastante común, especialmente para aquellos expuestos a la intemperie y sin preservación, los cuales pueden presentar daños internos y externos por presencia de agua o humedad. Ver figura 4

El agua no sólo provoca herrumbre en las superficies de diversos materiales, también puede acelerar la oxidación del aceite de las cajas de rodamientos y chumaceras (cojinetes de babbit), generando un ambiente ácido dentro de los equipos, especialmente los que están instalados en campo o almacenados sin protección contra los efectos del medio ambiente [1].

Figura 4 Motor afectado por la corrosión, producto de un deficiente plan de preservación durante el almacenamiento.¹



¹ tomado {En Línea}. Disponible en: <http://pedroferrerfotografia.blogspot.com.co/2011/06/motor-drill-bit-still-lifes-light.html>

4.1.2 Daños por caídas

Durante las actividades de movilización, manejo y almacenamiento de los repuestos, equipos y componentes, se pueden presentar daños por caídas, producto de un mal manejo de cargas, vehículos de transporte e izaje. De igual manera un apilamiento inadecuado de los equipos puede causar aplastamiento o caídas de los dispositivos y así sufrir impacto con otras superficies.

Disponer equipos en una zona de alto flujo de movimiento puede generar daños por golpes o rayaduras, afectando su integridad y la seguridad de los trabajadores.

4.1.3 Daños por inestabilidad térmica

La inestabilidad térmica en las zonas de almacenamiento, acompañado de otros factores como temperatura y gases, puede generar daños por corrosión en las superficies de los equipos rotativos debido a la formación de atmósferas corrosivas, las cuales también pueden presentarse in situ cuando hay plantas cercanas operando y estas emanan algunos gases que pueden llegar a afectar las superficies metálicas tanto internas como externas de los equipos instalados en campo [3] [4].

4.1.4 Daños por excesos de temperatura (alta o baja)

El calor influye en la velocidad de oxidación de un metal; comúnmente las temperaturas muy altas están asociadas con altos índices de corrosión.

Normalmente se podría esperar una menor oxidación a temperaturas más bajas, pero la corrosión no solo depende de la temperatura, también influyen otros factores como la humedad ambiental [3] [4].

Algunos metales expuestos a gases oxidantes en condiciones de temperatura muy altas, pueden reaccionar con el material sin la necesidad de un electrolito, produciendo corrosión.

4.1.5 Daños por humedad o sequedad

Los elementos metálicos son afectados por la corrosión; aunque por su naturaleza pocas veces solo la humedad representa un peligro si no existe otro fenómeno que la acompañe en su deterioro como alta temperatura, presión, pH y organismos biológicos [4] [8].

Cuando el contenido de humedad es grande y se produce una baja en la temperatura, especialmente en la noche, el agua se condensa causando oxidación en los elementos internos de los equipos y por lo tanto atascamiento o bloqueo de las piezas móviles por presencias de partículas de óxido conocidas como herrumbre [3] [6].

En un clima húmedo el material es más propenso a la corrosión que en un clima seco, si el metal se mantiene seco, es mucho menos probable que comience a oxidarse que cuando está constantemente expuesto a la lluvia o alta humedad que se condensa en el metal [3] [6].

No almacenar correctamente los materiales, repuestos, equipos y componentes en ambientes controlados o mantener fuera de servicio las máquinas rotativas en ambientes con alta humedad relativa sin una preservación adecuada promueve fenómenos de corrosión en los diferentes componentes de las máquinas.

4.1.6 Daños por polvo o partículas extrañas

La suciedad por polvo o partículas extrañas como arena puede causar daños por entrada al interior de los equipos rotativos, ocasionando erosión en las superficies de algunas como el caso de las puntas de los ejes, las cajas de rodamientos si no cuentan con los venteos adecuados [1].

La presencia de polvo o partículas en el equipo independientes al tamaño generan a daños en la lubricación de estos por abrasión en las superficies metálicas de los ejes, los rodamientos y los cojinetes de babbit; Se debe prevenir la contaminación de este tipo por medio de los respectivos sellos sugeridos por el fabricante y la instalación de venteos en las cajas de rodamientos que impidan el ingreso de partículas extrañas [1].

La presencia de partículas duras conlleva a picaduras, desgaste abrasivo, huellas superficiales, grietas, ranuras, alisamiento de elementos rodantes, bloqueo de los ejes y la reducción de la vida útil de los sellos permitiendo una acumulación mayor de estas partículas [1].

4.1.7 Daños por contaminación (vapores o gases especialmente)

Algunos metales expuestos a gases oxidantes junto con la presencia de altas temperaturas forman una pequeña capa sobre el metal, esta capa o empañamiento actúa como un electrolito sólido, permitiendo la corrosión de la superficie del metal [4].

4.1.8 Daños por afectación biológica debidos a vegetación, microorganismos, insectos, aves, reptiles y roedores

Los equipos rotativos que no están debidamente sellados y adecuadamente preservados son susceptibles de daños por corrosión debida organismos biológicos (corrosión microbiana, ver figura 5); este tipo de corrosión generado por estos organismos en las máquinas se da comúnmente por la presencia de medios acuosos. Los organismos biológicos presentes en el agua o el ambiente actúan en la superficie del metal, aumentando la velocidad de transporte del oxígeno a la superficie de este, produciendo defectos por corrosión [7] [9].

La falta de almacenamiento, preservación y seguimiento de los equipos puede permitir el ingreso y asentamiento de animales como, insectos, aves, reptiles y roedores en las partes abiertas a la superficie, que además de aumentar el riesgo de corrosión, o daños en las partes eléctricas de los equipos pueden poner en riesgo la integridad física de las personas que manipulan los equipos rotativos, los materiales, repuestos y componentes asociados durante su almacenamiento, preservación, instalación, pruebas y puesta en marcha. En las figuras 5 y 6 se ilustran un ejemplo de corrosión biológica o microbiana y la presencia de material biológico en los equipos almacenados.

Figura 5 Corrosión biológica o microbiana²



² tomado de TIPOS DE CORROSIÓN. {En Línea}.

Disponible en:

<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

Figura 6 Presencia de material biológico en los diferentes equipos almacenados en campo³



³ archivo disponible base de datos ECOPETROL 20162202_DIAGNOSTICO_RECOMENDACIONES_BODEGAS_V

4.1.9 Pérdida parcial, total o robo

La falta de un inventario, vigilancia, seguimiento y orden de los patios y bodegas de almacenamiento, puede permitir la pérdida o robo de los componentes o equipos rotativos, incluyendo los instalados en campo.

4.1.10 Daños por una instalación inadecuada o no preservación

Si durante la instalación del equipo no se tienen en cuenta los procedimientos de instalación de los manuales del fabricante, los estándares del sector de hidrocarburos (Oíl & Gas), y los procedimientos vigentes en la empresa para una correcta instalación de estos, se pueden causar daños que pueden representar la pérdida total o parcial de los equipos. Por ejemplo, la falta de estabilidad en el equipo puede causar daños físicos en los rodamientos o ejes como flexión, fisuras o fracturas.

Si los equipos permanecen instalados sin operar por periodos superiores a un mes, es necesario definir actividades preventivas de preservación en campo para evitar daños en la metalurgia (corrosión) y daños mecánicos (atascamiento y deflexión de partes).

4.1.11 Daños por golpes o rayaduras

Este tipo de daño es proveniente del impacto o la fricción que ocurre entre una superficie del equipo rotativo, y un elemento cercano, que al momento de entrar en contacto interactúan rápidamente entre sí con determinada fuerza, esto en la pieza o en el equipo puede traer consecuencias a corto o largo plazo; si la parte golpeada es frágil esta se puede fracturar u ocasionar rayaduras profundas, algunos materiales solo son resistentes al impacto hasta cierta magnitud.

Los materiales dúctiles pueden sufrir inmediatamente rayaduras o deformaciones caso contrario a otros tipos de materiales más resistentes a choques, pero sin embargo también se ven afectados por estos, sufriendo daños menores en el momento pero que a largo plazo y con la repetitividad de estos puede terminar en reducir su vida útil o pueden sufrir daños por fatiga que dejan al equipo en estado de no uso [5] [2].

4.2 DESARROLLO

En este capítulo del estándar (Guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipo rotativo adquirido a través de proyectos) se definen los diferentes pasos a seguir para el manejo, almacenamiento y preservación de equipos rotativos. Con el fin de garantizar su integridad metalúrgica y mecánica.

A continuación, se resumen las actividades más relevantes de dicho capítulo:

4.2.1 Seguridad en las bodegas y patios de almacenamiento

Es importante la identificación de los riesgos asociados con la seguridad de las personas, el cuidado del medio ambiente y el buen estado de los equipos, para lo cual es recomendable implementar un análisis de estos que busque su eliminación o mitigación.

Para la identificación de los riesgos se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Manejo de sustancias y productos químicos.
- Manejo, almacenamiento y preservación de equipos, componentes, repuestos y materiales.
- Insumos para preservación de los equipos.
- Izaje y manejo de cargas.

- Equipos y dispositivos de manejo e izaje de carga.
- Levantamiento manual de cargas (Ergonomía).
- Medio ambiente.
- Incendios, explosiones, fugas y afectaciones a la infraestructura de las bodegas.
- Estructura de las bodegas y su periferia.
- Condiciones del piso de las bodegas y patios de almacenamiento.
- Iluminación y ventilación.
- Integridad de los equipos expuestos a la intemperie.
- Estanterías de almacenamiento (deformación, corrosión, sobre carga, estado estructural entre otros).
- Pasillos y salidas de emergencia.
- Sistema de encerramiento de las bodegas y patios de almacenamiento.
- Señalización y demarcación de rutas de evacuación.
- Sistema de protección contra incendio (Fire and Gas).
- Almacenamiento, manejo y acumulación de chatarra y residuos peligrosos.
- Exposición de las personas a reptiles, serpientes, insectos ponzoñosos, roedores entre otros.
- Transporte interno de los equipos en las instalaciones industriales.
- Trabajos en alturas en las bodegas y patios de almacenamiento.
- Condiciones climáticas de las zonas donde se encuentran instaladas las bodegas y patios de almacenamiento.
- Aquellos otros aspectos relacionados con las actividades propias de la operación de las bodegas y patios de almacenamiento en ECOPETROL.

4.2.2 Actividades preventivas en la operación de las bodegas y patios de almacenamiento de equipo rotativo

Se incluyeron las actividades preventivas que se deben considerar en la operación de las bodegas y patios de almacenamiento para un adecuado recibo, manejo y almacenamiento de los equipos.

A continuación, se mencionan las principales actividades:

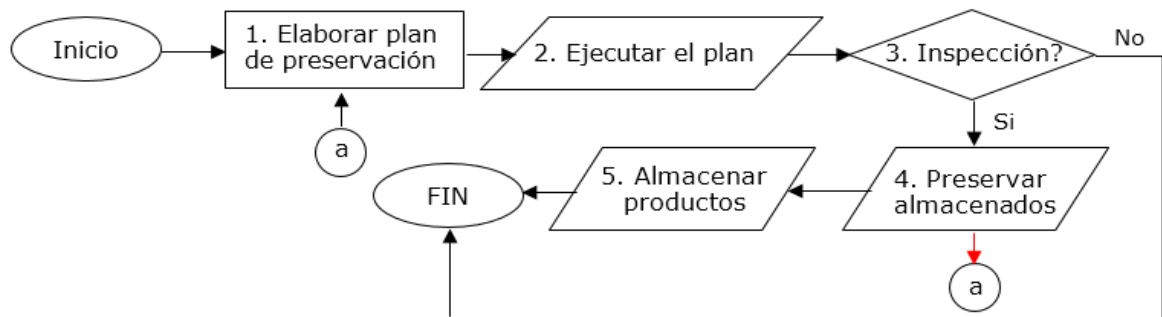
- Para las actividades de recibo, manejo, almacenamiento y transporte de equipos tener en cuenta las reglamentaciones gubernamentales, normas, métodos, procedimientos de control existentes y las recomendaciones de los fabricantes. El almacenamiento, manejo, preservación, transporte y demás actividades propias de las bodegas y patios, incluyendo los equipos de transporte y manejo de carga, deberán seguir las normas de seguridad y procedimientos vigentes de HSE en ECOPETROL relacionados con estas actividades, debido a los riesgos que se presentan en la salud de las personas, el medio ambiente y los mismos equipos.
- Definir actividades relacionadas con la optimización de inventarios de proyectos tales como: 1) Realizar las transferencias de materiales, equipos y componentes de rotativo a las diferentes bodegas de ECOPETROL, 2) Logística inversa de materiales, repuestos, equipos y componentes no requeridos por los proyectos, 3) Logística inversa de materiales con sobre stock a empresas del grupo o terceros.
- Es recomendable que en la fase de recibo y chequeo de los equipos en las bodegas y patios se revise el 100% de toda la carga recibida, verificando entre otros: 1) los requerimientos y cantidades establecidas en las órdenes de compra, 2) documentos técnicos asociados

(manuales, planos, procedimientos, certificados de calidad, etc.), 3) transferencias a otros sitios, internas, entre bodegas; asegurando y garantizando el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los equipos recibidos.

4.2.3 Etapas del plan de preservación de equipo rotativo en bodega

En la Figura 7 se describen las etapas recomendadas para la ejecución del plan de preservación de los materiales, repuestos, equipos, componentes de maquinaria rotativa almacenados en las bodegas y patios:

Figura 7 Proceso de preservación materiales, repuestos, equipos y componentes en las bodegas y patios de almacenamiento



4.2.4 Recomendaciones de preservación de maquinaria rotativa.

A continuación, se describen los principales lineamientos a tener en cuenta sobre la correcta preservación de los equipos rotativos, sus repuestos, componentes y materiales asociados, desde el momento de su ingreso a las bodegas hasta el momento de la puesta en servicio:

- El encargado de los patios y bodegas de almacenamiento es el responsable de la conservación de los equipos y almacenamiento de los equipos desde el primer momento de su recepción.

- Realizar un plan para la preservación e inspección de los equipos rotativos almacenados en las bodegas que contemple las mejores prácticas en la industria sobre preservación, la normativa vigente y las recomendaciones emitidas por el fabricante y en el estándar desarrollado con este trabajo de grado. Verificar que las actividades descritas en el plan de preservación no vayan en contravía con las recomendaciones del fabricante, si esto ocurre priman las recomendaciones hechas por el fabricante de la máquina rotativa.

Algunas recomendaciones generales para la preservación de equipos rotativos son:

- El ejecutor debe elaborar el plan de preservación de los equipos, con fecha de próximas actividades de ejecución requeridas para cada equipo rotativo.
- El ejecutor del plan de preservación debe llevar un registro de las actividades de preservación y seguimiento que se realizan sobre cada uno de los equipos rotativos, el cual debe contener detalles de las actividades desarrolladas, fecha en la que se desarrollaron y próxima inspección, junto con la firma del responsable.
- Como recomendación general todos los ejes expuestos y superficies pulidas, deben estar libre de agentes contaminantes, ser almacenados en bodegas protegidos contra la intemperie y contra la corrosión con un protector inhibidor de fácil remoción.
- Se recomienda almacenar los equipos rotativos en bodegas protegidos de la intemperie, en su defecto deben tomar las medidas necesarias para protegerlos de esta.

- Los equipos sensibles a variaciones de temperatura se deben almacenar en zonas con control de humedad y calor. Usar cuartos hornos o fríos según aplique.
- Los equipos rotativos deben contar con guarda de acoples y sellos de fábrica para protegerlos durante el almacenamiento.
- Proteger con tapas la succión y descarga (admisión y exhosto para turbinas), para evitar entrada de partículas, animales o contaminantes externos.
- Todos los venteos, drenajes u orificios deben contar con tapones, resistentes al aceite.
- Partiendo del hecho que los equipos pueden requerir un almacenamiento temporal se debe exigir al fabricante el correcto empaque, embalaje, preservación desde fábrica y los manuales de cada equipo, incluyendo las recomendaciones de preservación.
- Se recomienda girar manualmente los ejes y no usar herramientas que puedan dejar marcas como muescas en el material.
- Los tornillos, tuercas, arandelas, partes sueltas y repuestos en general ser protegidos aplicando una capa de aceite inhibidor de corrosión, envolverse en bolsas plásticas y almacenarse bajo techo en estantes sin que estén en contacto con el suelo.
- Para equipos presurizados con nitrógeno (N₂) se debe realizar inspección semanal de la presión del gas; en caso de pérdida de presión y de no cumplir con la requerida, presurizar el equipo hasta normalizar la presión.

4.3 PRESERVACIÓN DE EQUIPOS ROTATIVOS INSTALADOS EN CAMPO DURANTE LOS PROYECTOS

A continuación, se menciona lo más relevante de este capítulo tratado en el estándar.

Para garantizar la seguridad e integridad de los equipos rotativos, sus componentes, materiales y repuestos se deben ejecutar las acciones necesarias para protegerlos contra los daños que puede inducir el medio ambiente al que están expuestos, el cual genera fallas prematuras por fenómenos de corrosión, atascamiento y deformación.

La preservación en campo cubre las fases de comisionamiento y precomisionamiento de equipos rotativos instalados en los proyectos, para garantizar su confiabilidad al momento de la entrega en servicio a la operación.

Para la preservación de los equipos rotativos instalados en campo siempre se deben seguir en primera instancia las recomendaciones de los fabricantes, las cuales priman sobre el documento desarrollado, y en el caso en el que se presenten diferencias o controversias se debe implementar las recomendaciones del fabricante para preservar los equipos rotativos en campo. En los casos en los cuales sea necesario, según la complejidad de la preservación en el campo e incluso en las bodegas, solicitar acompañamiento técnico al fabricante para definir las acciones de preservación mínimas para garantizar la integridad de los equipos rotativos.

A continuación, se indican algunas recomendaciones generales para la preservación de los equipos rotativos instalados en campo durante la fase de construcción de los proyectos:

- Definir el plan de preservación.

- Verificar si los equipos fueron preparados desde la fábrica para un determinado periodo de permanencia al aire libre sin operarlos; se deben consultar las recomendaciones de los fabricantes para definir las actividades de preservación.
- Cualquier actividad de preservación a realizar en el equipo rotativo no especificado en las recomendaciones del fabricante, se debe consultar este para mantener la integridad mecánica y metalúrgica del equipo a preservar de acuerdo con los procedimientos del fabricante y así mantener la garantía.
- Verificar que no haya presencia de fugas de aceite en puntos de llenado, conexiones y tuberías de los sistemas de sellado y lubricación para corregir fugas de aceites u otros fluidos de sello.
- Cuando aplique, instalar bridas en la succión y descarga y tapones en todos los canales y/u orificios de las carcasas de los equipos rotativos, para evitar el ingreso de humedad y partículas extrañas al interior del equipo instalado en campo.
- Los ejes expuestos y superficies pulidas, deben limpiarse completamente y recubrirse con un protector inhibidor de corrosión de fácil remoción.

Nota: se debe dejar registro histórico de las condiciones físicas de los equipos rotativos, sus componentes y materiales asociados, de las condiciones en las que quedaron.

4.3.1 Preservación durante el precomisionamiento y comisionamiento de equipos rotativos

Las fases de precomisionamiento y comisionamiento garantizan las condiciones de los equipos y plantas nuevas, para la puesta en marcha, la cual generalmente requiere de una planificación, organización y ejecución del procedimiento establecido para una correcta puesta en servicio de los nuevos activos de una empresa. Durante estas fases se debe garantizar sobre la preservación de los equipos rotativos que todos estén correctamente preservados y disponibles para las pruebas funcionales de los equipos y la puesta en marcha, incluyendo todos sus sistemas asociados, verificando la eliminación de conservantes y protección realizada a todos los equipos según el plan de preservación en campo, con el propósito de asegurar que estén dadas las condiciones para la arrancada de los equipos y las plantas.

La arrancada de los equipos rotativos se da una vez se haya terminado con su instalación y una vez se hayan realizado las fases de precomisionamiento y comisionamiento de los equipos.

El proceso de arrancada de los equipos rotativos sigue 3 procedimientos esenciales:

- Preparación de los equipos para la arrancada.
- Arrancada de los equipos.
- Traspaso de los documentos de la arrancada al responsable del funcionamiento de la planta, y realizar el registro.

Sobre la preservación de los equipos rotativos durante la arrancada se debe tener en cuenta que:

- Se hayan ejecutado los procedimientos de eliminación de los inhibidores de corrosión y conservantes en los equipos en los casos donde sea necesario su remoción.
- Disponer de los procedimientos para de la eliminación de la protección realizada durante una preservación inicial al equipo.

Finalmente, para una correcta puesta en marcha de las nuevas plantas se debe contar con todos los procedimientos necesarios para la arrancada de cada equipo rotativo y demás sistemas asociados, estos deben estar disponibles y conocidos por todos los operadores para garantizar que durante la puesta en servicio no se presenten fallas prematuras.

5. CONCLUSIONES

- Se definió la metodología para la elaboración del estándar, siguiendo los lineamientos de tipo documental de ECOPETROL S.A., se estructuró de una forma lógica y ordenada, lo cual permitió obtener los resultados esperados por la empresa sobre la creación del estándar.
- Se identificaron los principales riesgos y daños a los cuales están expuestos los equipos rotativos durante su paso por las bodegas, patios de almacenamiento e instalación y demás etapas de ejecución de los proyectos hasta su puesta en marcha; Se definieron en el estándar elaborado los pasos a seguir para la mitigación y/o eliminación de estos daños y riesgos que pueden afectar la integridad y confiabilidad de los equipos, la seguridad de las personas, las instalaciones de ECOPETROL S.A. y el medio ambiente.
- Se identificaron los diferentes documentos existentes en ECOPETROL S.A., la normativa vigente en el sector de hidrocarburos, las mejores prácticas en la industria sobre manejo, almacenamiento y preservación de equipos rotativos, las recomendaciones del fabricante, y se incorporaron en un único documento titulado *“Guía para el manejo, almacenamiento y preservación de equipo rotativo adquirido a través de proyectos”*, en el cual se definen los lineamientos necesarios para garantizar la confiabilidad de los equipos rotativos adquiridos en los proyectos.

6. RECOMENDACIONES

A LA UNIVERSIDAD

Es importante que la universidad y específicamente la escuela de ing. Metalúrgica, fomente y realice más acercamientos con las empresas de determinadas áreas, para generar espacios de interacción con el propósito de trabajar juntos (universidad-empresa) en proyectos propuestos; esto permite a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos en la industria y ganar experiencia para su futuro desarrollo como profesional.

A ECOPETROL

- Para garantizar la integridad y confiabilidad de los equipos rotativos durante la ejecución de los proyectos, siempre se debe realizar la valoración de los riesgos a los que se exponen no solo los equipos sino las personas y el medio ambiente, tanto en las bodegas, los patios de almacenamiento, en el campo, durante la instalación, el precomisionamiento, comisionamiento, las pruebas y la puesta en marcha de las nuevas plantas.
- Determinar el tiempo durante el cual permanecerá almacenado un equipo rotativo, y cuanto tiempo estará instalado sin operar, para elaborar de forma correcta el plan de preservación requerido por cada equipo o familia de equipos, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y la normativa internacional aplicable.
- Realizar un debido análisis de los equipos rotativos necesarios en cada proyecto para evitar compras tempranas que conllevan a almacenar equipos innecesariamente por largos periodos de tiempo, lo cual implicar costos

adicionales por preservación en sitios de almacenamiento y por instalación en campo.

- Realizar actividades de seguimiento y control de la preservación de los equipos rotativos. Dejar históricos, que contengan las actividades realizadas en los equipos y la fecha en la que se realizó el seguimiento y próxima actividad a realizar. Con esto se verifica la eficiencia del plan de preservación.
- Realizar jornadas de capacitación al personal a cargo de la preservación de los equipos rotativos en las bodegas, patios de almacenamiento, y equipos instalados en campo sobre el manejo, almacenamiento y preservación para implementar las mejores prácticas en la industria y las recomendaciones hechas por el fabricante que aseguren la integridad de los equipos y de acuerdo con el estándar creado con este trabajo de grado.

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] CAUSAS MÁS COMUNES DE LAS FALLAS DE LAS MÁQUINAS. {En Línea}. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/causas-mas-comunes-de-falla-de-las-maquinas>

[2] CHOQUE. {En Línea}. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_%28f%C3%ADsica%29#Efectos_de_choque

[3]. ¿CÓMO PUEDE AFECTAR EL CLIMA AL ÍNDICE DE OXIDACIÓN DEL METAL? {En Línea}. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/afectar-clima-indice-oxidacion-del-metal-info_242744/

[4] CORROSIÓN. {En Línea}. Disponible en: <http://www.cursos.maximatec.com/downloads/Corrosion.pdf>

[5] GOLPES Y APLASTAMIENTOS POR CAÍDA DE OBJETOS Y MATERIALES {En Línea}. Disponible en: <http://www.ponceleon.org/prl/index.php/golpes-y-aplastamientos-por-caida-de-objetos-y-materiales>

[6] HUMEDAD. {En Línea}. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Helada>

[7] 9. PRINCIPIOS DE CORROSION, CORROSION MICROBIOLOGICA (MIC). {En Línea}. Disponible en: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>

[8] TEMA 4: LA CORROSIÓN. {En Línea}. Disponible en:
http://www.tecnosefarad.com/wpcontent/archivos/bach_2/materiales/T4_la_corrosion.pdf

[9] TIPOS DE CORROSIÓN {En Línea}. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

BIBLIOGRAFÍA

API. American Petroleum Institute. Recommended practice for machinery installation and installation design (cap 3 - jobsite receiving and protection). API RP 686 (2nd Edition December 1, 2009)

CAUSAS MÁS COMUNES DE LAS FALLAS DE LAS MÁQUINAS.

{En Línea}. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/causas-mas-comunes-de-falla-de-las-maquinas>

CHOQUE. {En Línea}. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Choque_%28f%C3%ADsica%29#Efectos_de_choque

¿CÓMO PUEDE AFECTAR EL CLIMA AL ÍNDICE DE OXIDACIÓN DEL METAL? {En Línea}. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/afectar-clima-indice-oxidacion-del-metal-info_242744/

CORROSIÓN. {En Línea}. Disponible en: <http://www.cursos.maximatec.com/downloads/Corrosion.pdf>

GOLPES Y APLASTAMIENTOS POR CAÍDA DE OBJETOS Y MATERIALES {En Línea}. Disponible en: <http://www.ponceleon.org/prl/index.php/golpes-y-aplastamientos-por-caida-de-objetos-y-materiales>

HUMEDAD. {En Línea}. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Helada>

Mataix, Claudio. Mecánica de los fluidos y maquinas hidráulicas. Biblioteca de la U.S.B.

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. {En Línea}. Disponible en:
https://www.ecured.cu/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna

NORSOK STANDARD. MECHANICAL COMPLETION AND COMMISSIONING. Z-007 (Rev. 2, Dec. 1999)

NORSOK STANDARD. PRESERVATION Z-006 (Rev. 1, April 1997)

Oltra Badenes, Raúl Francisco/ Universitat Politècnica de València.

PRINCIPIOS DE CORROSION, CORROSION MICROBIOLOGICA (MIC). {En Línea}. Disponible en: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>

RENOVETEC. PARTES DE UNA TURBINA DE VAPOR {En Línea}. Disponible en:
<http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/306-partes-de-una-turbina-de-vapor>

TEMA 4: LA CORROSIÓN. {En Línea}. Disponible en:
http://www.tecnosefarad.com/wpcontent/archivos/bach_2/materiales/T4_la_corrosion.pdf

TIPOS DE CORROSIÓN {En Línea}. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

TURBINA DE GAS. {En Línea}. Disponible en:
https://mysolar.cat.com/es_MX/products/gas-turbine-overview.html

VEGA VELAZCO, V. (2005). Sistema de monitoreo de la condición del aceite lubricado nuevo y usado para la detección de fallas para los equipos rotativos

críticos en la refinería gerencia complejo Barrancabermeja Bucaramanga:
Universidad Industrial de Santander.