

**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN CONFIABILIDAD PARA LOS
EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN DE LA EMPRESA DOW
AGROSCIENCES EN BARRANQUILLA**

**JOSÉ RAIMUNDO BLANCO CERVANTES
EDWIN ANTONIO CASADIEGO ÁVILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN CONFIABILIDAD PARA LOS
EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN DE LA EMPRESA DOW
AGROSCIENCES EN BARRANQUILLA**

**EDWIN ANTONIO CASADIEGO ÁVILA
JOSÉ RAIMUNDO BLANCO CERVANTES**

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

**Director
OSCAR MARINO CAMPO BONELL
Ingeniero Mecánico
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme esta gran oportunidad de crecer profesionalmente.

A mi esposa e hija, a quienes amo y son el aliciente para seguir cosechando triunfos.

EDWIN CASADIEGO

A Dios, la fuerza suprema

A la Universidad Industrial de Santander y su cuerpo de profesores por compartir sus conocimientos.

A mi esposa por acompañarme en este viaje.

A mis compañeros de estudio por su camaradería

JOSÉ BLANCO

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN. | 18 |
| 1. DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA DOW AGROSCIENCES | 19 |
| 1.1 DOW AGROSCIENCES EN EL MUNDO | 19 |
| 1.2 DOW AGROSCIENCES EN COLOMBIA | 20 |
| 1.3 PLANTAS INDUSTRIALES DE DOW AGROSCIENCES EN COLOMBIA | 21 |
| 1.3.1 Planta industrial Dow Agrosiences en Cartagena | 21 |
| 1.3.2 Planta industrial Dow Agrosiences en Barranquilla | 22 |
| 1.4 PRODUCTOS | 23 |
| 1.4.1 Fungicidas | 23 |
| 1.4.1.1 Fungicidas preventivos o protectores | 23 |
| 1.4.1.2 Fungicidas curativos o erradicadores | 24 |
| 1.4.2 Carbamatos y ditiocarbamato | 24 |
| 1.4.2.1 Maconzeb | 25 |
| 1.4.2.2 Descripción general del proceso de síntesis de maconzeb | 25 |
| 1.5 PROCESO DE PRODUCCIÓN | 27 |
| 1.6 EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN | 28 |
| 1.6.1 Agitador de precipitación | 29 |
| 1.6.2 Sistemas de transmisión vertical y giratorio de la aspa raspadora del filtro | 30 |
| 1.6.3 Agitador de Regeneración | 33 |
| 1.7 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ACTUAL EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN | 35 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 37 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 39 |
| 4. OBJETIVOS | 40 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL | 40 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 40 |
| 5. CONCEPTOS CLAVES PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO | 41 |
| 5.1 DISPONIBILIDAD | 41 |

| | |
|---|-----|
| 5.2 CONFIABILIDAD | 43 |
| 5.3 MANTENIBILIDAD | 45 |
| 5.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 45 |
| 5.4.1 Análisis de criticidad de factores ponderados basados en el concepto del Riesgo | 48 |
| 5.5 FMEA: FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS | 50 |
| 5.5.1 Propósito de FMEA | 51 |
| 5.5.2 Principios de FMEA | 52 |
| 5.5.3 Modos de fallas | 52 |
| 5.5.4 Causas de fallas | 54 |
| 5.5.5 Efectos de fallas | 54 |
| 5.5.6 Información requerida en un FMEA | 56 |
| 5.6 NORMA ISO 14224 | 57 |
| 5.6.1. Definiciones de fronteras y taxonomía | 58 |
| 5.6.2 Datos recomendados para equipos, fallas y mantenimiento | 61 |
| 5.6.2.1 Datos de unidad de equipos | 61 |
| 5.6.2.2 Datos de fallas | 61 |
| 5.6.2.3 Datos de mantenimiento | 61 |
| 5.6.3 Datos de equipos | 62 |
| 6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN | 64 |
| 7. FMEA A LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN | 74 |
| 8. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS | 111 |
| 9. CONCLUSIONES | 122 |
| BIBLIOGRAFÍA | 125 |
| ANEXOS | 127 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Listado de equipos rotativos con su información técnica del área de Precipitación | 34 |
| Tabla 2. Factores ponderados para criterios asociados a análisis de criticidad | 50 |
| Tabla 3. Definición taxonómica de la empresa Dow Agrosiences según norma ISO 14224 | 64 |
| Tabla 4. Datos técnicos motor y agitador de precipitación | 65 |
| Tabla 5. Datos técnicos motor y agitador de tanque intermedio | 66 |
| Tabla 6. Datos técnicos motor y bomba de tanque intermedio | 66 |
| Tabla 7. Datos técnicos motor y bomba de materia prima 4 | 67 |
| Tabla 8. Datos técnicos motorreductor y bomba cavidad progresiva | 67 |
| Tabla 9. Datos técnicos motor y sistema de desplazamiento vertical | 68 |
| Tabla 10. Datos técnicos motor y sistema de giro | 68 |
| Tabla 11. Datos técnicos motor y bomba de filtrado | 69 |
| Tabla 12. Datos técnicos motorreductor y agitador de regeneración | 69 |
| Tabla 13. Datos técnicos motor y bomba de regeneración | 70 |
| Tabla 14. Datos técnicos motor y molino coloidal | 70 |
| Tabla 15. Factores ponderados para análisis de criticidad equipos rotativos del área de precipitación | 71 |
| Tabla 16. Desarrollo de la matriz de criticidad para los equipos rotativos del área de precipitación | 72 |
| Tabla 17. Matriz de criticidad | 73 |
| Tabla 18. Relación de equipos críticos según matriz de criticidad | 73 |
| Tabla 19. Definición de funciones para el sistema de desplazamiento vertical del aspa raspadora del filtro | 75 |
| Tabla 20. Definición de funciones para el sistema de giro del aspa raspadora | 76 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 21. Definición de funciones del agitador del tanque de precipitación | 77 |
| Tabla 22. Descripción de los componentes del sistema de desplazamiento vertical según norma ISO 14224 | 78 |
| Tabla 23. Desarrollo FMEA para el sistema de desplazamiento vertical | 79 |
| Tabla 24. Descripción componentes sistema de giro del aspa raspadora según norma ISO 14224 | 89 |
| Tabla 25. Desarrollo FMEA para el sistema de giro del aspa raspadora. | 90 |
| Tabla 26. Descripción de los componentes del agitador del tanque de precipitación según norma ISO 14224 | 100 |
| Tabla 27. Desarrollo de FMEA para el agitador del tanque de precipitación | 101 |
| Tabla 28. Estrategia de mantenimiento para el sistema de desplazamiento Vertical | 112 |
| Tabla 29. Estrategia de mantenimiento para el sistema de giro del aspa raspadora | 116 |
| Tabla 30. Estrategia de mantenimiento para el agitador del tanque de Precipitación | 119 |
| Tabla 31. Resumen actividades mantenimiento equipos críticos | 124 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Estructura química carbamatos y ditiocarbamato | 25 |
| Figura 2. Estructura química del Mancozeb | 25 |
| Figura 3. Estructura química del Mancozeb | 26 |
| Figura 4. Sistema de desplazamiento vertical y giro de la aspa raspadora del filtro | 30 |
| Figura 5. Curva de Davies o curva de la bañera | 35 |
| Figura 6. Modelo básico de análisis de criticidad | 47 |
| Figura 7. Ejemplo de un formato para desarrollar un FMEA | 53 |
| Figura 8. Listado de modos de fallas | 54 |
| Figura 9. Listado de posibles causas de fallas | 55 |
| Figura 10. Definición de una frontera para un generador eléctrico | 58 |
| Figura 11. Ejemplo de taxonomía | 60 |
| Figura 12. Datos mínimos a recolectar para los equipos | 63 |

LISTA DIAGRAMAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Diagrama 1. Diagrama de flujo área Precipitación | 31 |
| Diagrama 2. Parámetros de disponibilidad | 42 |

LISTA FOTOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Foto 1. Ubicación y vista aérea planta Dow Agrosciences Cartagena | 22 |
| Foto 2. Ubicación y vista aérea planta Dow Agrosciences Barranquilla | 22 |
| Foto 3. Foto de agitador de precipitación | 29 |
| Foto 4. Foto del agitador de regeneración | 33 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| ANEXO A. Plano agitador del tanque de precipitación | 127 |
| ANEXO B. Plano limitador de torque sistema de desplazamiento vertical | 128 |
| ANEXO C. Plano tornillo de potencia del sistema de desplazamiento vertical | 129 |

GLOSARIO

BISULFURO DE CARBONO. Es un líquido volátil, incoloro y muy fácilmente inflamable que se obtiene por reacción directa de los elementos vapor de azufre y carbono en ausencia de aire entre 800 y 1000 grados centígrados. Tiene un olor característico que empeora si está impuro debido a la hidrólisis parcial o total que libera sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno).

CARBAMATO. Son compuestos orgánicos derivados del ácido carbámico (NH_2COOH). La principal fuente de carbamatos es su uso como insecticidas y herbicidas.

DITIOCARBAMATO. Es el análogo a un carbamato, en el que ambos átomos de oxígeno son reemplazados por átomos de azufre.

EDA. Etil dietilamina. Amina secundaria. Las aminas son compuestos químicos orgánicos que se consideran como derivados del amoníaco y resultan de la sustitución de los hidrógenos de la molécula por los radicales alquilo. Según se sustituyan uno, o dos o tres hidrógenos, las aminas serán primarias, secundarias o terciarias, respectivamente.

ESPORA. En biología designa una célula reproductora generalmente unicelular y con un solo juego de cromosomas o la mitad.

FLOWABLES: Producto en proceso en estado acuoso.

FUNGICIDAS. Son sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o eliminar los hongos y mohos perjudiciales para las plantas, los animales o el hombre.

HERBICIDAS. Un herbicida es una sustancia química que se utiliza para eliminar las plantas indeseadas o malas hierbas.

HONGOS. Grupo de seres vivos diferentes a los animales y plantas, clasificados dentro del reino llamado fungi. Son seres vivos que no pueden aprovechar la luz del sol como las plantas lo que les obliga a obtener los materiales necesarios y la energía de otra materia orgánica, es decir de plantas o animales, vivos o muertos.

INSECTICIDAS. Compuesto químico utilizado para matar insectos.

MALEZAS. Se le denomina así a cualquier especie vegetal que crece de manera silvestre en una zona cultivada y controlada por el ser humano como cultivos agrícolas y jardines

MANCOZEB. Es un fungicida selectivo y muy activo, que actúa por contacto sobre las hojas, para el control preventivo de un amplio espectro de hongos en un amplio rango de cultivos. Pertenece al grupo químico de los ditiocarbamato.

MANEB. Es un fungicida que se utiliza para proteger el arroz, trigo, uva, tabaco, contra una amplia gama de enfermedades. Su nombre químico es manganeso ethylene -1

MICELIO. Es la masa de elementos filamentosos cilíndricos (hifas) que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo.

MOHO. Es un hongo que se encuentra en tanto en el aire libre como en lugares húmedos y de baja luminosidad.

POLIESTIRENO. Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. El estireno a su vez es un hidrocarburo aromático de fórmula química C_8H_8 .

SODA CÁUSTICA. Nombre común que se le da al hidróxido de sodio, el cual es usado en la industria en la fabricación de papel, tejidos y detergentes.

RESUMEN

TITULO: ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN CONFIABILIDAD PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN DE LA EMPRESA DOW AGROSCIENCES EN BARRANQUILLA*

AUTORES: JOSÉ RAIMUNDO BLANCO CERVANTES, EDWIN ANTONIO CASADIEGO ÁVILA**

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, disponibilidad, mantenimiento, criticidad, FMEA, equipos críticos.

DESCRIPCION: Este trabajo está orientado a aumentar la disponibilidad de la planta de fungicidas de Dow Agrosiencas en Barranquilla, a través de una mejora en la confiabilidad de los equipos críticos rotativos del área de precipitación.

El desarrollo de una matriz de criticidad, la cual es el resultado de determinar la probabilidad de falla de un equipo y la consecuencia de esta falla, es la herramienta clave para establecer una jerarquía de los equipos de la planta, donde se consideran críticos aquellos que tengan un alto impacto en la producción, confiabilidad, mantenimiento, seguridad, salud y medio ambiente. La consideración de un equipo crítico va relacionada con un valor cuantitativo, que se encuentra dentro de unos límites numéricos definidos por los criterios de la matriz de criticidad. El desarrollo de las estrategias de mantenimiento solamente involucran a los equipos críticos que resultan, de la aplicación de la matriz de criticidad.

El análisis de los modos de fallas y sus efectos (FMEA), es la metodología para identificar las diversas fallas que puedan presentarse en los componentes de los equipos, así como establece además los efectos que dichas fallas producen. Este análisis genera el conocimiento para definir los tipos, la descripción y las frecuencias de las tareas de mantenimiento que eliminan y controlan esos modos de fallas de los equipos críticos.

El desarrollo del análisis FMEA se basó en los criterios de las normas ISO 14224, la cual va enfocada en la recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de equipos para las industrias del petróleo, petroquímica y de gas. Aparte también se usó la norma BS5760-2, la cual es la guía para el análisis de criticidad de los modos de fallas y sus efectos (FMEA y FMECA).

El resultado de esta técnica permitió establecer una estrategia de mantenimiento para los equipos críticos, basado en confiabilidad, la cual propende por la eliminación de paradas no programadas, debido al conocimiento y control que de ahora en adelante se ejercen sobre los diferentes modos de fallas de estos equipos.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico –Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Óscar Marino Campo Bonell, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: STRATEGY OF MAINTENANCE BASED ON RELIABILITY FOR CRITICAL EQUIPMENT ON PRECIPITATION AREA IN DOW AGROSCIENCES BARRANQUILLA*

AUTHORS: JOSÉ RAIMUNDO BLANCO CERVANTES, EDWIN ANTONIO CASADIEGO ÁVILA**

KEYWORDS: Reliability, Availability, Maintainability, criticality, FMEA, critical equipment

DESCRIPTION:

This work is aimed to increase the availability of Dow Agrosciences fungicides plant in Barranquilla, through of improved reliability for critical rotating equipment in the precipitation section.

Developing a criticality matrix, which is the result of determining the probability of equipment failure and the consequence of this failure, is the key tool to establish a hierarchy of plant equipment, considering as critical those whose failure has the highest impact on production, reliability, maintainability, safety, health and environment. The criticality of equipment is related to a quantitative value that is within numerical limits defined by the criticality matrix criteria. The development of maintenance strategies involve only critical equipment resulting from the application of the matrix of criticality.

The Failures Modes Effects and Analysis (FMEA) is a methodology to identify the various failures that may occur in equipment components and further establishes the effects that such failures generate. This analysis gives us the knowledge to define the type, description and frequency of maintenance tasks that eliminate and control these failure modes of critical equipment.

The development of the FMEA analysis was based on the criteria of ISO 14224, which is focused on the collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment of petroleum, petrochemical and natural gas industries. Also used the standard BS5760-2, which is the guide for analyzing the criticality of failure modes and effects (FMEA and FMECA).

The result of this technique allowed us to establish a maintenance strategy for critical equipment, based on reliability, which aims for the elimination of unscheduled downtime, due to knowledge and control taken from now on, for the various failure modes of these equipments.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physics-Mechanics. Maintenance Management Specialization, Director : Óscar Marino Campo Bonell, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el enfrentamiento de las grandes compañías de cualquier sector económico por obtener una porción de la totalidad del mercado es feroz; aún más en este mundo globalizado e inundado de tratados de libre comercio que empuja a las compañías a luchar ya no por un mercado local, sino mundial.

Para lograrlo y sobrevivir al intento, las compañías deben ser altamente competitivas, es decir; producir con menos costos, con mejores tecnologías y potencializar estas cualidades para vencer a la competencia. Las empresas no lo lograrían sin un departamento de mantenimiento enfocado en permitir que los procesos no se detengan y que la máxima de producir, producir y producir con calidad sea una realidad.

Dow Agrosiences lidera desde hace muchos años el mercado de los agroquímicos y esto lo ha conseguido bajo la política de total apoyo a su departamento de mantenimiento, permitiendo que este adapte e implemente todas las herramientas de gestión de mantenimiento de clase mundial para garantizar alta confiabilidad y disponibilidad en sus equipos.

En esta monografía se describe la aplicación de herramientas de confiabilidad, como el análisis de criticidad y análisis de modos de fallas y sus efectos en equipos pertenecientes al área de mayor impacto productivo de Dow Agrosiences: el área de precipitación . Dicho análisis busca generar una mayor disponibilidad y confiabilidad en estos equipos y de esta manera contribuir al cumplimiento de metas productivas que se ha impuesto como objetivo la casa matriz de Dow Agrosiences a nivel mundial.

1. DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA DOW AGROSCIENCES

1.1 DOW AGROSCIENCES EN EL MUNDO

La casa matriz de esta multinacional se encuentra en Indianápolis, EEUU. Dow Agrosciences, subsidiaria de The Dow Chemical Company, es a nivel mundial uno de los líderes en la producción de productos destinados al control de malezas, productos agrícolas y de biotecnología. Actualmente cuenta en el mundo con más de 6000 empleados en 50 países, con ventas por más de 3 billones de dólares.¹

En el año de 1989 el Departamento de Productos Agrícolas de Dow Chemical y el negocio de Plant Sciences de Eli Lilly creó Dow Elanco a partir de un joint venture. En 1997 The Dow Chemical Company adquirió las acciones de Dow Elanco, dando origen a la compañía Dow AgroSciences en 1998.

Los segmentos del mercado a los que apunta Dow Agrosciences para la protección de cultivos y manejo de malezas, incluyen maíz, cereales, girasol, soya, algodón, arroz, frutas y legumbres.

Con respecto a la biotecnología, se proveen soluciones genéticas para mejorar la producción de cosechas. A través de esta ciencia se pueden introducir genes para alterar las características de una planta, grano o fruta que produce. Aparte, por medio de la biotecnología se pueden hacer plantas resistentes a malezas, insectos o enfermedades.

Dow Agrosciences, es el accionista mayoritario de Mycogen Seeds, empresa de gran desarrollo biotecnológico, que desarrolla y comercializa semillas, siendo líder en el campo tecnológico, en el avance del estudio de cosechas genéticamente potenciadas.

¹ <http://www.dowagro.com/co/quienes/>

A través de diversas alianzas y adquisiciones, se ha podido suministrar complejas proteínas en plantas para la producción de productos farmacéuticos, vacunas, alimentación e ingredientes industriales a partir de las cosechas. También se ha intensificado la investigación en el aceite para mejorar el contenido de grasa, calidad, estabilidad y vida útil de los aceites de cocina.

Dow Agrosiences en el mundo cuenta con 44 plantas, distribuidas de la siguiente manera: 17 plantas en Norte América, 16 en Latinoamérica y 10 entre Europa, Asia y África.

En Suramérica Dow Agrosiences tiene 3 plantas en Argentina, 2 plantas en Brasil y 2 plantas en Colombia, las cuales están ubicadas en Barranquilla y Cartagena.

1.2 DOW AGROSCIENCES EN COLOMBIA

En el año de 1953, Dow Chemical realizó en Colombia los estudios de mercadeo, para posteriormente en el año de 1954 iniciar la comercialización de los primeros productos agroquímicos de Dow en Colombia. Pero fue en el año 1960 que inició sus actividades Dow Agrosiences en Colombia, con el nombre de Dow Chemical Inter-American Limited, subsidiaria también de The Dow Chemical Company. En este año construyó en Bogotá su primera planta de herbicidas, la cual, posteriormente en 1970 fue trasladada a Cartagena.

En 1965, Dow reconoce a Latinoamérica y por ende a Colombia como un área geográfica estratégica para el desarrollo de sus negocios, por lo que en este mismo año arranca en Cartagena la primera planta de Poliestireno.

La parte agrícola de la compañía Rohm and Haas fue adquirida por Dow Agrosiences S.A. en junio del 2001, complementando el portafolio de ésta, con fungicidas, insecticidas y herbicidas de alto reconocimiento en el mercado. La

adquisición también incluye la tecnología de mutación de genes que trabaja en conjunto con los insecticidas de Rohm and Haas para proveer un preciso control de los rasgos de cultivos en los campos.

En Colombia, la planta de fungicidas de Rohm and Haas ubicada en Barranquilla, continúa actividades pero bajo el nombre de Dow Agrosiences Colombia.

Dow Agrosiences en Colombia, dirige sus esfuerzos para proteger cultivos como arroz, papa, hortalizas, pastos, banano, flores, maíz, algodón, entre otros. En Colombia y también en el mundo Dow Agrosiences es reconocida como una compañía líder en el control de malezas en potreros.

1.3 PLANTAS INDUSTRIALES DE DOW AGROSCIENCES EN COLOMBIA

En Colombia Dow AgroSciences posee dos plantas de producción; una ubicada en la ciudad de Cartagena y otra ubicada en la ciudad de Barraquilla.

De estas dos plantas, la que representa interés para esta monografía es la planta donde se desarrolla la síntesis de mancozeb (planta de Barraquilla) y es sobre la se centrará este trabajo más adelante.

1.3.1 Planta de Dow Agrosiences en Cartagena. Esta ubicada en Cartagena (Bolívar) en la Zona Industrial de Mamonal, kilómetro 14. Fue fundada en 1965 y actualmente tiene una planta de formulaciones para herbicidas e insecticidas. Esta planta produce 43 productos agroquímicos, donde el 50% de sus productos se exporta y el otro 50% se consume nacionalmente.

Foto 1. Ubicación y vista aérea planta Dow Agrosciences Cartagena. Fuente: <http://maps.google.es/>



1.3.2 Planta de Dow Agrosciences en Barranquilla. Esta ubicada en Barranquilla, Atlántico, fue fundada en 1961 por Rohm and Haas y en julio de 2001 fue adquirida por Dow Agrosciences. Actualmente cuenta con las plantas de síntesis de fungicida, formulación de flowables, formulación de suspensión en aceites y formulación para herbicidas e insecticidas. El 60% de la producción de estas plantas es de exportación y el 40% es mercado nacional.

Foto 2. Ubicación y vista aérea planta Dow Agrosciences Barranquilla. Fuente: <http://maps.google.es/>



Dentro de los productos que la planta de Dow Agrosiences produce en Barranquilla, podemos nombrar los siguientes: Dithane M-45, Dithane 60-OF, Indar 2-OF, Rally 40WP, entre otros.

1.4 PRODUCTOS

Dow Agrosiences se dedica a la formulación, producción y comercialización de herbicidas, insecticidas y fungicidas para la protección de cultivos y pasturas. En la planta ubicada en la ciudad de Barranquilla sólo se produce el compuesto activo para fungicidas.

1.4.1 Fungicidas. Dow Agrosiences en Barranquilla produce fungicidas en las plantas de síntesis de fungicidas, formulación de flowables y formulación de suspensión en aceites. Los fungicidas son sustancias tóxicas de naturaleza mineral u orgánica que elimina o impide el crecimiento de hongos, los cuales son perjudiciales para plantas, animales y el hombre.²

Los fungicidas son usados extensamente en la agricultura, para diferentes propósitos que incluyen protección de las semillas de granos durante su almacenamiento, transporte y germinación. También se usan para la protección de los cultivos maduros, de las fresas, los semilleros, las flores y hierbas silvestres.³

Los fungicidas pueden destruir el micelio y las esporas del hongo o impedir la reproducción del hongo. Por su modo de acción se clasifican en:

1.4.1.1 Fungicidas preventivos o protectores. Son los que impiden la germinación de las esporas de los hongos, son llamados de contacto, actúan solamente en la superficie de la planta donde el fungicida ha sido depositado,

² <http://es.wikipedia.org/wiki/Fungicida>

³ <http://www.epa.gov/opp00001/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch15.pdf>

evitando así que las esporas germinen y penetren las células. Deben aplicarse antes de que lleguen las esporas de los hongos.

Ejemplos de fungicidas preventivos: Cobre y derivados, Azufre, Captan, Maneb, Mancozeb, Propineb, Ziram, etc.

Los ditiocarbamato, son los fungicidas de contacto más usados a nivel mundial y son producidos a través de síntesis química; ejemplos: Maneb, Mancozeb, Ziram, etc.

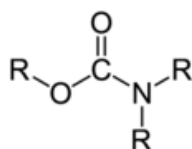
1.4.1.2 Fungicidas curativos o erradicadores. Penetran en los tejidos vegetales y detienen el crecimiento del micelio del hongo. Estos fungicidas también son llamados sistémicos o sistemáticos.

1.4.2. Carbamatos y ditiocarbamato. Los Carbamatos son compuestos orgánicos derivados del ácido carbámico (NH_2COOH) y son grupos funcionales que se encuentran interrelacionados estructuralmente y pueden ser interconvertidos químicamente.⁴

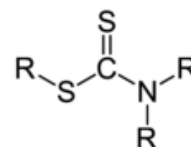
En los carbamatos hay dos átomos de oxígeno $\text{ROC}(=\text{O})\text{NR}_2$ y cuando estos 2 átomos de oxígeno son reemplazados por átomos de azufre se denominan ditiocarbamato $\text{RSC}(=\text{S})\text{NR}_2$, tal como lo muestra la estructura química de la figura 1.

⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Carbamato>

Figura 1. Estructura química carbamatos y ditiocarbamato. Fuente: Wikipedia.com



Estructura química carbamatos



Estructura química ditiocarbamato

1.4.2.1 Mancozeb. Tiene el nombre químico de Etilenbis-ditiocarbamato de zinc y manganeso y es un fungicida de actividad preventiva con amplio espectro de control, con modo de acción a través del contacto. También podemos decir que es un compuesto de Maneb y Zinc, generalmente con 20% de manganeso y 2.5% de zinc. El mane b es químicamente llamado Etilenbis-ditiocarbamato de manganeso. A continuación se muestra en la figura 2 la estructura química del mancozeb.

Figura 2. Estructura química del Mancozeb. Fuente: Wikipedia.com

| | |
|----------------------|--|
| Nombre químico: | Etilenbis-ditiocarbamato de zinc y manganeso |
| No. CAS: | 8018-01-7 |
| Fórmula empírica: | $(C_4 H_6 Mn N_2 S_4)_x (Zn)_y$ |
| Fórmula estructural: | |

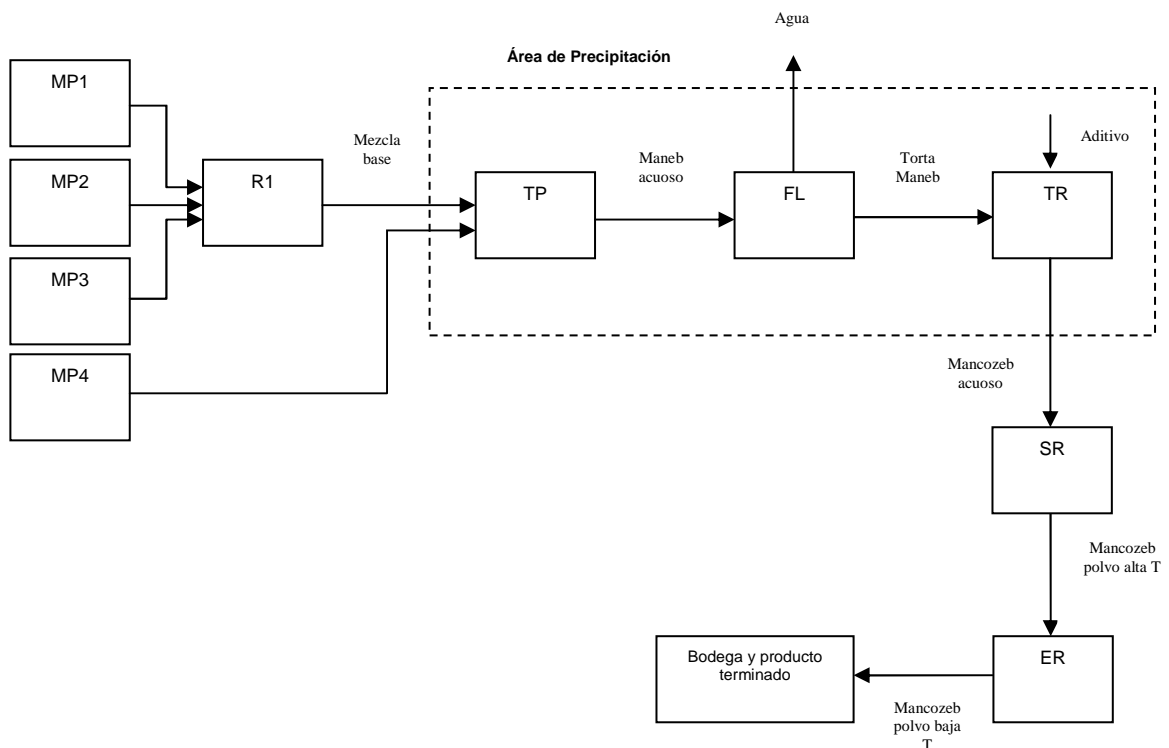


1.4.2.2 Descripción general proceso de síntesis de Mancozeb. El proceso de síntesis de mancozeb, el cual se describe esquemáticamente en el diagrama de flujo de la figura 3, produce este fungicida en forma de polvo después de llevar a

cabo un proceso químico a partir de sustancias más simples, donde se involucran varias operaciones unitarias.

Las materias primas almacenadas en el centro de acopio, denominadas en este caso como las materias primas MP1, MP2 y MP3 son bombeadas a un reactor R1 donde al mezclarse se produce una reacción exotérmica, donde el resultado es una mezcla base para el fungicida. Esta mezcla base es bombeada al tanque de precipitación, donde al agitarse por medio de un agitador instalado en el tanque con la materia prima MP4 se genera el Maneb en estado acuoso.

Figura 3. Descripción proceso síntesis del Mancozeb. Fuente: los autores.



Posteriormente dentro del área de precipitación, el Maneb se envía al filtro (FL) donde se le retira el agua en exceso hasta tener una torta de Maneb. Esta torta se transfiere a otro tanque, denominado de regeneración (TR), donde se mezcla con

un aditivo para producir el mancozeb acuoso. El mancozeb acuoso es agitado por medio de unas espas dentro del tanque para homogenizar la mezcla.

El mancozeb acuoso posteriormente pasa por un secador rotatorio (SR), donde se le retira la humedad por medio de un proceso de transferencia de calor con vapor. En esta parte del proceso se obtiene el producto (Mancozeb) en forma de polvo a una elevada temperatura. El polvo se transfiere a un enfriador rotatorio (ER), donde el mancozeb sale con temperatura y humedad dentro de los parámetros adecuados para enviarse al área de empaque y posteriormente a bodega de producto terminado.

1.5 PROCESO DE PRODUCCIÓN

La planta de Dow AgroSciences en Barranquilla, produce un fungicida para eliminar los hongos en las plantaciones.

Antes de obtener el producto final, éste debe pasar por varias etapas, las cuales se nombran brevemente a continuación (ver Fig. 3):

Almacenamiento de materias primas: se almacena soda cáustica, EDA (etil dietilamina) y bisulfuro de carbono. Luego estas materias primas son bombeadas a un reactor.

Reacción: se produce una reacción exotérmica al momento de mezclarse las materias primas mencionadas anteriormente.

Precipitación: La mezcla pasa del reactor a un tanque de precipitación mediante una bomba. El producto se agita dentro de este tanque continuamente hasta precipitar los componentes más pesados.

Filtración: El producto precipitado se bombea a un a un filtro en donde se le extrae el agua y queda un producto al que se le denomina torta.

Regeneración: La torta pasa por un agitador donde se le agregan ciertos compuestos para mejorar ciertas propiedades al producto final.

Secado: al salir de la regeneración, el producto pasa a una etapa de secado en donde se le disminuye la humedad.

Enfriamiento: el producto se enfría para poder ser empacado.

Empaque: producto final empacado en su presentación comercial.

1.6 EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN

El área de precipitación es una de las áreas más importantes en el proceso de síntesis de mancozeb. Dentro de esta área se dan 3 etapas, como son: Precipitación, Filtración y Regeneración. Cada una de estas etapas tiene relacionadas una serie de equipos rotativos, los cuales deben ser altamente confiables para cumplir las diferentes funciones para los que fueron instalados y también para mantener el flujo del proceso. Cualquier falla presentada en uno de estos equipos en las etapas de Precipitación, Filtración y Regeneración, desencadena un paro en el proceso después de un tiempo determinado.

Las tres etapas descritas tienen asociadas, como lo indica el diagrama de flujo (Fig. 3), tres equipos principales, como lo son el tanque de precipitación, el filtro de maneb y el tanque de de regeneración. De estos 3 equipos, se desprenden una serie de equipos rotativos, los cuales son vitales para garantizar el flujo y la calidad del producto de una etapa a otra.

1.6.1 Agitador de Precipitación. Este equipo mostrado en la foto 3, hace parte del tanque de precipitación. En este tanque se combina la mezcla base proveniente del reactor y la materia prima MP4, resultando como producto el Maneb acuoso.

Foto 3. Foto de agitador de precipitación. Fuente: Dow Agrosiences



El agitador está compuesto de un motor de 25HP que gira a 1780 rpm y el cual está acoplado directamente a un reductor de ejes paralelos de marca CMR con una relación de velocidad de 31,22. Este reductor transmite potencia a través de un acople flexible a un eje de acero inoxidable 304, donde están ajustadas 4 alabes que agitan el producto a 57 rpm.

A este tanque de precipitación, aparte del agitador, está asociado un agitador del tanque intermedio (AI) el cual almacena y agita la mezcla base para después ser bombeada con la bomba del tanque intermedio (BI) al agitador de precipitación, tal como lo muestra el diagrama de flujo para el área de precipitación del diagrama 1.

Otro equipo asociado a este agitador es la bomba de materia prima (MP4), encargada de transferir esta materia prima al tanque de precipitación.

1.6.2 Sistemas de transmisión vertical y giratorio del aspa raspadora del filtro. Este equipo mostrado en la figura 4 hace parte del tanque de filtración. A este tanque de filtración llega el maneb acuoso y se le retira el agua con trazas de maneb.

Figura 4. Sistema de desplazamiento vertical y giro de la aspa raspadora del filtro. Fuente Dow Agrosciences

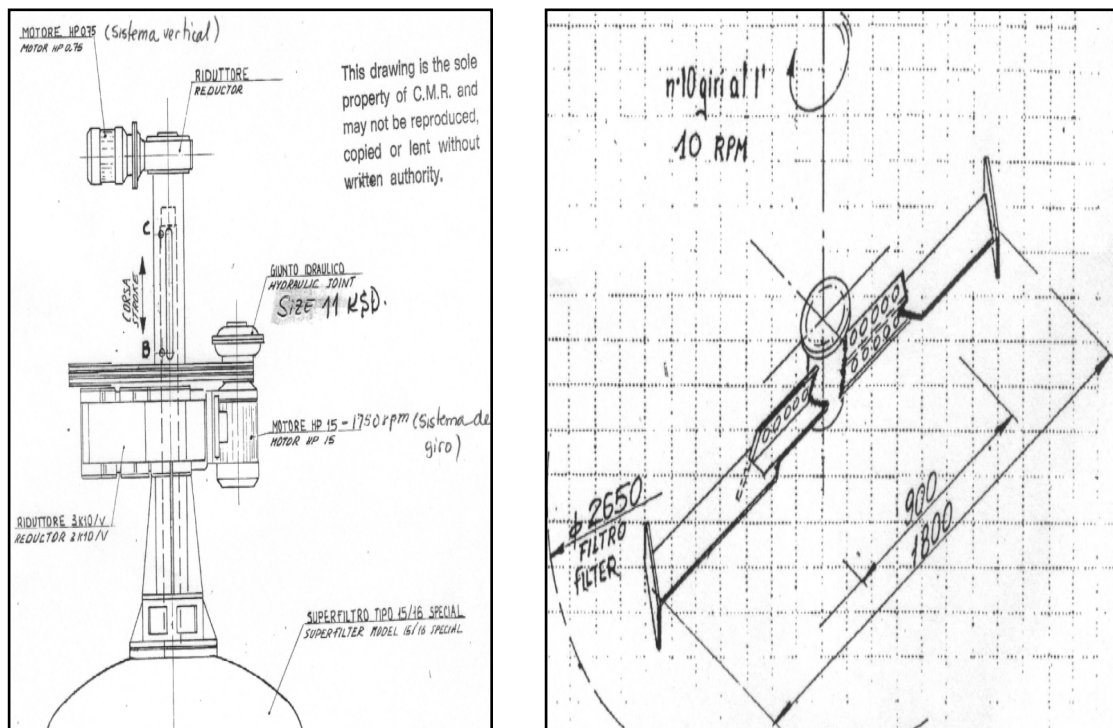
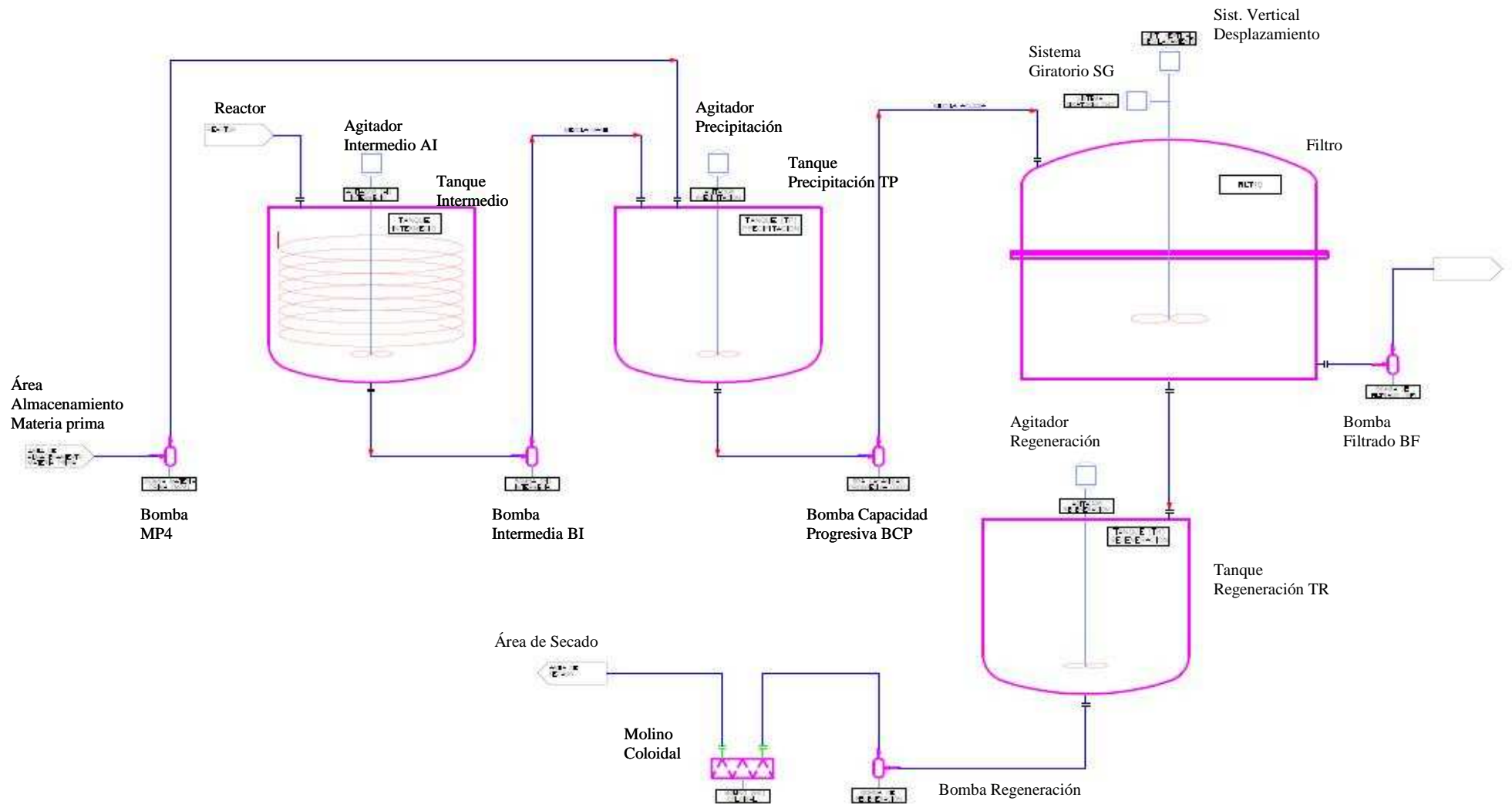


Diagrama 1. Diagrama de flujo área Precipitación. Fuente: Dow Agroscienses



El equipo rotativo que compone el filtro en realidad es un álabe raspador. Cuando el maneb está filtrado y en estado de torta seca, el álabe por medio de un movimiento giratorio y de desplazamiento vertical raspa la torta y la desplaza hacia el tanque de regeneración.

Dos sistemas de transmisión, el de desplazamiento vertical (SDV) de subida y bajada del álabe y el de giro (SG), permiten que el alabe raspador cumpla la función de evacuar la torta de Maneb.

El sistema de desplazamiento vertical (SDV), esta compuesto de un motorreductor sin fin corona de 1HP a 852 rpm, que a través de un sistema de embragues de discos esta conectado a un tornillo de potencia rosca ACME, el cual convierte el movimiento giratorio en lineal. Este movimiento lineal permite bajar y subir el álabe raspador, el cual va engranado con el tornillo de potencia.

El sistema de giro (SG) del álabe, se da gracias a un reductor de ejes paralelos, el cual tiene un eje hueco en su engrane de salida por donde pasa un eje estriado. El engrane de salida y el eje estriado se ajustan por medio de una camisa, la cual cubre el eje y tiene un sistema de cuña y cuñero. La transmisión entre el reductor y el motor que tiene una potencia de 15HP y gira a 1750 rpm, se hace a través de correas con una relación de velocidad de 1,34.

Estos dos sistemas permiten el desplazamiento vertical del eje a una velocidad de 0,05 m/min. y a 10 rpm.

A este filtro, incluidos los sistemas de giro y de desplazamiento vertical del álabe raspador, están asociados una bomba de cavidad progresiva (BCP) que desplaza el producto del tanque de precipitación al tanque del filtro y una bomba de filtrado (BF), la cual evacua el líquido filtrado. El diagrama 1 también esquematiza esta parte del proceso.

1.6.3 Agitador de Regeneración. Este equipo mostrado en la foto 4, hace parte del tanque de Regeneración. A este tanque llega el maneb en torta y sale mancozeb en estado acuoso. El agitador está compuesto de un motorreductor de 8,8HP y gira a 1740rpm con una relación de velocidad de 8,11. Este motorreductor acopla al reductor del agitador por medio de un acople flexible. Este reductor de engranajes cónicos con una relación de velocidad de 1:3, tiene una velocidad de giro a la salida de 71,5 rpm con la particularidad que el eje del agitador es el mismo eje de salida del reductor.

Foto 4. Foto del agitador de regeneración. Fuente: Dow Agrosciences



Los equipos asociados a este tanque de regeneración, aparte del agitador, corresponden a una bomba de regeneración (BR), la cual transfiere el producto que sale del tanque de regeneración a un molino coloidal (MC), el cual también hace parte del tanque de regeneración. Este molino coloidal mejora las propiedades de la mezcla de Mancozeb acuoso y la desplaza hacia el área de secado, tal como lo muestra el diagrama 1.

A continuación en la tabla 1, describimos los equipos rotativos asociados al área de precipitación con su respectiva información técnica.

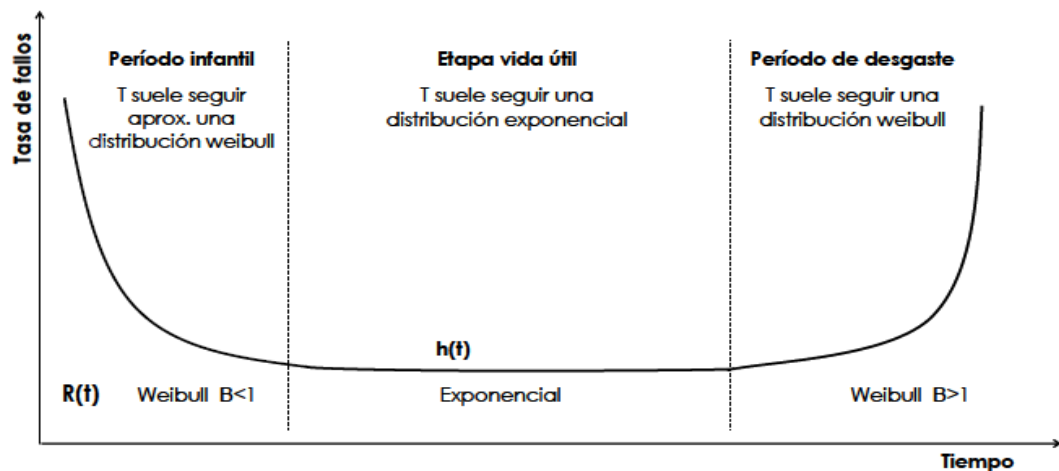
Tabla 1. Listado de equipos rotativos con su información técnica del área de Precipitación. Fuente: los autores

| RELACION EQUIPOS ROTATIVOS PRECIPITACION | | |
|--|---|--|
| Item | Descripción | Características Técnicas |
| 1 | Motor agitador de precipitación | Marca: Chalmer, 1740 RPM, 25HP, 440V, 60HZ |
| 2 | Reductor-Agitador de precipitación | Marca: CMR, Ejes paralelos, i=30.52, RPM salida=57, Acople flexible, eje agitador acero inoxidable 304, 4 aspas. |
| 3 | Motor agitador tanque intermedio | Motor 3HP, 1730 RPM, 60HZ, 440V. Transmisión por correa: i= 1:5. |
| 4 | Reductor-Agitador tanque intermedio | Marca: American, engranajes cónicos, i =1:3, RPM entrada: 346, RPM salida: 115. Eje agitador SS304, 4 aspas. |
| 5 | Motor bomba tanque intermedio | Motor siemens, 5HP, 1735RPM, 440V, 60HZ, acople flexible |
| 6 | Bomba tanque intermedio intermedio | Bomba Goulds, 3196MT, 1x2x8, 5HP, 1735, 50GPM |
| 7 | Motor bomba materia prima MP4 | Motor siemens, 7.5HP, 1740RPM, 440V, 60HZ, acople flexible |
| 8 | Bomba materia prima MP4 | Bomba Goulds, 3196MT, 1-1/2x3x10, 7.5HP, 1740, 80GPM |
| 9 | Motorreductor bomba de cavidad progresiva | Motorreductor helicoidal Marca: SEW, 12HP, 1750RPM, i=7.84 |
| 10 | Bomba de cavidad progresiva | Marca: Moyno, 223RPM, 12 HP, acople flexible |
| 11 | Sistema desplazamiento vertical aspa raspadora del filtro | Motor de 1HP, 852RPM, 60HZ, 440V Reductor ejes paralelos y sinfín corona, i=142, RPM salida=6 Sistema de embrague de disco Velocidad tornillo potencia ACME: 0,05 m/min |
| 12 | Sistema de giro aspa raspadora | Motor de 15 HP, 60HZ, 440V, 1750RPM Transmisión por correa. RPM entrada reductor: 1300, i=130 RPM salida: 10, RPM aspa raspadora = 10 Aspa raspadora de Acero inoxidable 304, 1.8m diámetro. Eje giratorio: Acero inoxidable 304 y acero al carbono |
| 13 | Motor bomba de filtrado | Motor siemens, 5HP, 1150 RPM, 440V, 60HZ, acople flexible |
| 14 | Bomba de filtrado | Bomba Goulds, 3196MT, 1-1/2x3x10, 5HP, 1150, 50GPM |
| 15 | Motorreductor agitador tanque de regeneración | Helicoidal Marca: Flender, 8.8HP, 1740RPM, i=8.11, 60HZ, 440V |
| 16 | Reductor-Agitador tanque de regeneración | Marca: American, engranajes cónicos, i =1:3, RPM entrada: 214, RPM salida: 71.5. Eje agitador SS304, 4 aspas. |
| 17 | Motor bomba de regeneración | Motor siemens, 10HP, 1750 RPM, 440V, 60HZ, acople flexible |
| 18 | Bomba de regeneración | Bomba Goulds, 3196MT, 2x3x10, 10HP, 1750, 160GPM |
| 19 | Motor molino coloidal | Marca: Siemens, 50HP, 3550RPM, 60HZ, 440V, acople flexible |
| 20 | Molino helicoidal | Marca: Probst, Tipo Estator-rotor acero SS304, 120GPM |

1.7 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ACTUAL EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN.

El área de precipitación tiene como equipos rotativos tres (3) agitadores, Un (1) sistema de giro y un (1) sistema de desplazamiento vertical para el álabe raspador del filtro, cuatro (4) bombas centrífugas, una (1) bomba de cavidad progresiva y un (1) molino coloidal. Estos equipos en su mayoría tienen más de 30 años de funcionamiento, tiempo considerado, para este tipo de equipos, como suficiente para estar en la etapa de desgaste progresivo según la curva de Davies o curva de la bañera, ver Fig. 5. Esto se evidencia con la concentración de múltiples tareas de mantenimiento en la actualidad, que tienen como objetivo, controlar y minimizar las fallas que se presentan en esta etapa y poder prolongar su vida útil.

Figura 5. Curva de Davies o curva de la bañera. Fuente: módulo principios de mantenimiento UIS



Estos equipos actualmente, contemplan tareas de mantenimiento independiente del tipo de equipo y de la función que desempeñen. Dichas tareas son de tipo preventivo, por análisis de condición y en otros casos se lleva hasta la falla.

Todos los equipos mencionados anteriormente, tienen incluidos como rutina periódica una tarea de mantenimiento de análisis por condición, la cual va relacionada con la técnica de análisis de vibraciones. Actualmente no se han considerado, ni evaluado con relación a los modos de fallas de los equipos rotativos, otras técnicas de análisis por condición, por lo que se le ha encomendado al análisis de vibraciones la mayor responsabilidad para evitar fallas en los equipos rotativos.

Las tareas de mantenimiento preventivo se enfocan a la restitución de partes, es decir, cambiar las partes más susceptibles al desgaste, pero basado en casos históricos de fallas presentadas en estos equipos, como también cumpliendo recomendaciones de los fabricantes. Las tareas de mantenimiento preventivo por reacondicionamiento cíclico en estos momentos no han sido consideradas, las cuales, también son necesarias para llevar el equipo a la condición de funcionamiento requerida.

Correr a falla es una de la estrategia utilizada, cuando el análisis de las tareas costo-efectivas no es viable. Actualmente la estrategia de mantenimiento como no es basada en confiabilidad, no tiene definida para estos equipos, cuáles son los modos de fallas de las partes o componentes que deben correr a falla, poniendo en claro que la presencia de fallas catastróficas en los equipos del área de precipitación, no obedecen a la implementación de la estrategia de correr a falla, sino a la deficiencia para identificar aquellas tareas de mantenimiento efectivas que ataquen los modos de fallas que generan grandes consecuencias.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa de productos químicos Dow Agrosiences, ubicada por casi 50 años en Barranquilla (Atlántico) cuenta con una gran variedad de equipos rotativos en el área de precipitación.

Las pérdidas de producción en horas, asociadas a equipos rotativos de las 5 áreas de la empresa en el 2011 fueron de 314h. El 45% de estas pérdidas (141.3 horas) son atribuidas a los equipos rotativos del área de precipitación. Las paradas no programadas, debido a fallas en equipos rotativos contribuyeron a alcanzar un 94% en la disponibilidad de la planta, cuando la meta a cumplir era de 96%.

La rata de fallas en estos equipos rotativos de precipitación fue de 10 fallas/año, evidenciando una baja confiabilidad el año anterior.

Se ha calculado que el 13% del tiempo perdido por fallas en equipos rotativos en el área de precipitación (40,8h) fueron usados por:

- Retrasos administrativos, los cuales incluyen el tiempo gastado en permiso de trabajo, búsqueda del personal, realización de procedimientos, entrega del equipo por parte de operaciones.
- Retrasos logísticos, estos incluyen el tiempo gastado en la consecución de repuestos, materiales y de herramientas.

El resto del tiempo, el cual es invertido en la restitución de la función del equipo a su estado de referencia (MTTR), fue calculado en 27.32h. Este indicador es alto y va relacionado con el diseño de los equipos, los cuales son robustos debido a su antigüedad.

El problema central de la disminución en la confiabilidad y disponibilidad, radica en que estos equipos, no tienen implementadas tareas de mantenimiento producto del análisis de una estrategia de mantenimiento que ataque todos los modos de fallas, la mayoría corren a falla. El desconocimiento de estos modos de fallas, generan grandes probabilidades para aumentar el número de fallas por año, las cuales disminuirían la disponibilidad de la planta y aumentarían los costos de mantenimiento.

La definición de una estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad, permitirá establecer a través de los modos de fallas de sus equipos rotativos críticos, los tipos de tareas de mantenimiento necesarias para aumentar confiabilidad y disponibilidad en la planta.

No definir la estrategia de mantenimiento para los equipos críticos de la planta de precipitación, compromete a corto plazo las metas de producción de Dow, las cuales por la gran demanda de producto a nivel mundial está exigiendo al área de mantenimiento la máxima disponibilidad y confiabilidad en los equipos.

3. JUSTIFICACIÓN

Los estándares de Dow a nivel mundial en cuanto a mantenimiento y confiabilidad, le exige a sus plantas la implementación de estrategias de mantenimiento, aplicando FMEA. La exigencia en el cumplimiento de la estrategia busca en 5 años a nivel mundial disminuir los eventos no planeados y costos de mantenimiento en 75% y 40% respectivamente con respecto al 2011.

A nivel local, la estrategia de mantenimiento es necesaria para cumplir en los próximos 2 años con una disponibilidad de 97%, una disminución del 80% de las horas por paradas no programadas y una disminución de costos por mantenimiento del 50%, con respecto al 2011.

Los puntos anteriores, relacionados a los requerimientos internacionales y nacionales en cuanto a mantenimiento y confiabilidad, solamente buscan aumentar la disponibilidad de las plantas de un 90% a un 96%, cantidad suficiente para satisfacer la alta demanda de producción pronosticada para los próximos 5 años y por lo cual Dow, dentro de sus metas ha establecido el lema de “cero eventos no planeados”.

Otro aspecto importante en la realización de este trabajo consiste en aprovechar los recursos financieros, humanos y logísticos que la empresa está poniendo a disposición para implementar esta estrategia de mantenimiento.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Definir la estrategia de mantenimiento en los equipos críticos rotativos del área precipitación en la empresa Dow Agrosiences ubicada en Barranquilla, aplicando estándares de confiabilidad como BS-5760 e ISO 14224.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1 Realizar análisis de criticidad a los equipos rotativos del área de Precipitación.

4.2.2 Identificar y establecer los equipos críticos del área de Precipitación objeto del estudio.

4.2.3 Aplicar FMEA para establecer las tareas de mantenimiento.

4.2.4 Presentar resultados y definir la estrategia de mantenimiento.

5. CONCEPTOS CLAVES PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

En este capítulo de la monografía, se enunciarán algunos conceptos de mucha importancia para la teoría del mantenimiento y que serán base para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo.

5.1 DISPONIBILIDAD

La probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad.⁵

En forma breve disponibilidad es la probabilidad que un equipo funcione en un período de tiempo dado.

Se puede medir por el tiempo que el equipo ha funcionado más el tiempo que ha descansado, durante un período de tiempo dado.

Existen varias clases de disponibilidad y la elección de alguna de ellas depende de las expectativas de la empresa acorde a los elementos que se quiera controlar:

- Disponibilidad Genérica
- Disponibilidad inherente o intrínseca
- Disponibilidad Alcanzada

⁵ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Envigado: COLDI, 2012. p. 60

- Disponibilidad Operacional
- Disponibilidad operacional generalizada

El índice de disponibilidad puede determinarse en función de:

$$ID = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}^6$$

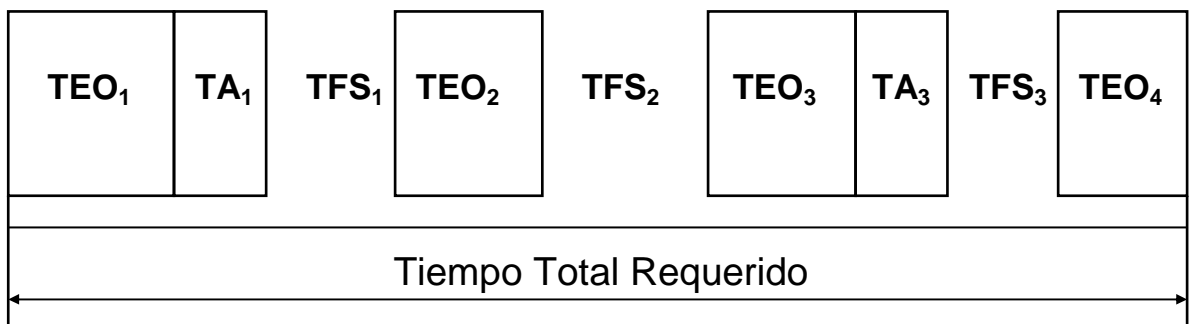
Donde:

MTBF: Mean Time between Failures

MTTR: Mean Time to Repair

El diagrama 2 representa algunos parámetros de disponibilidad tenidos en cuenta la momento de medir la disponibilidad a un equipo dado.

Diagrama 2. Parámetros de disponibilidad. Fuente: Ing. Carlos R. González, memorias módulo mantenimiento preventivo UIS



Donde:

⁶ Esta expresión se usa para el cálculo de la disponibilidad inherente o intrínseca, donde sólo se tiene en cuenta fallas o pérdidas de funcionalidad, por razones propias del equipo y donde los retrasos o demoras administrativas o físicas son mínimos o tienden a cero.

TEO= Tiempo del equipo en operación

TA= Tiempo del equipo apagado pero listo para operar

TFS= Tiempo fuera de servicio por paradas no programadas

5.2 CONFIABILIDAD

La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo las condiciones normales de operación, ambientales y del entorno, se define como confiabilidad.⁷

En otras palabras se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista.⁸

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que definen su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones específicas:

- La probabilidad se define en forma clásica, como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total de posibles casos (intentos o eventos). Ejemplo: la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas de 0.75 (75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de cada 100 ensayos, durante al menos 80 horas.
- Desempeño satisfactorio hace referencia a que se deben establecer criterios específicos para describir lo que se considera como una operación

⁷ MORA GUTIÉRREZ, Op. cit.,p. 79-80

⁸ <http://www.monografias.com/trabajos16/confiabilidad/confiabilidad.shtml>

satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema o equipo debe lograr. Implica además conocer cuándo el equipo falla y ya no se desempeña satisfactoriamente.

- El período es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o longitud de vida.
- Condiciones de operación son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione como situación geográfica, temperatura, humedad, etc.

La confiabilidad se determina mediante el tiempo promedio entre fallas, MTBF; es decir, MTBF es una medida de la confiabilidad en términos de tiempo.

MTBF = Suma de todos los tiempos de operación / Números de fallos

El índice de daño (λ) o tasa de fallos es otra medida de confiabilidad:

$$\lambda = 1/MTBF ; (\text{Número de daños / unidad de tiempo}).$$

Cuando la tasa de fallo es constante, la distribución del tiempo entre fallos es exponencial. Entonces es posible predecir la confiabilidad con base en la función exponencial:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

R (t) = probabilidad de funcionamiento libre de fallos o confiabilidad

λ = Tasa de fallas, constante

$e = 2,71828$

t = período de tiempo especificado libre de fallos

Cuando esto no sucede toca aplicar la función de Weibull u otros métodos.

5.3 MANTENIBILIDAD

A la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción; se le denomina Mantenibilidad.

Es la probabilidad que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento el mantenimiento es efectuado de acuerdo a procedimientos establecidos.

Matemáticamente puede caracterizarse por MTTR.

$MTTR = \text{Total horas fuera de servicio} / \# \text{ de intervenciones de mantenimiento}$

5.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, dirigiendo el esfuerzo y los recursos a áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.⁹

⁹ HUERTA MENDOZA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Confiabilidad.NET. Available from Internet: <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/>

El análisis de criticidad da respuestas a interrogantes sobre cómo establecer si una planta, sistema o equipo es más crítico que otro, qué criterio se debe usar o si todos los que toman decisiones usan el mismo criterio; dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación principalmente: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

CRITICIDAD = Probabilidad de la falla X Consecuencia de la falla

Donde la probabilidad de falla está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y la consecuencia de la falla está referida como: el impacto, flexibilidad operacional, los costos de reparación, los impactos en seguridad, ambiente e imagen corporativa.

Basados en esta ecuación, se observa que el nivel criticidad puede ser modificado, bien sea disminuyendo la probabilidad de falla, disminuyendo las consecuencias o ambos, es importante resaltar que de acuerdo a la experiencia, las acciones dirigidas a disminuir probabilidad de falla (frecuencia de ocurrencia de eventos) son más factibles o viables de ejecutar que las dirigidas a disminuir consecuencias ya que estas involucran mayores esfuerzos y decisiones de altos niveles gerenciales¹⁰, Para algunos autores, disminuir la frecuencia (probabilidad) es prevención y disminuir las consecuencias (gravedad de los efectos) es protección.

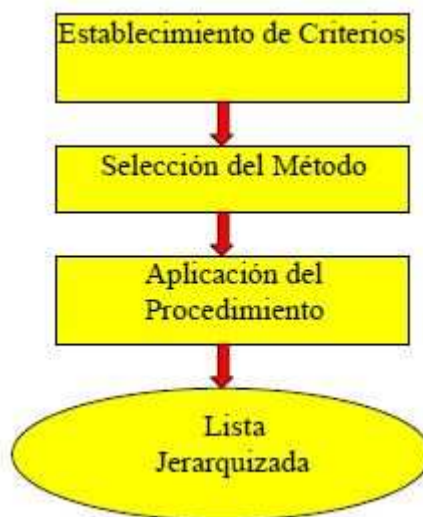
¹⁰ Aranguren, José G., Bravo, Javier E., Materán, Elisaúl de J., Medina, Robinson J. Generación de Planes Óptimos de Inspección para Equipos Estáticos en Instalaciones Petroleras., Reliability and Risk Management – Integrity Assessment Services.

Esta ecuación que define la criticidad es una particularización de la ecuación de riesgo ya que para el estudio de criticidad el evento a estudiar son las fallas (factores de riesgo), y las consecuencias en que estas fallas afectan los recursos fundamentales de la empresa (físicos y humanos).

Los principales criterios para un análisis de criticidad están asociados con seguridad, ambiente, producción, costos de operación y de mantenimiento, probabilidad de fallas y tiempo de reparación. Estos criterios dependen del método a utilizar.

Un modelo básico de análisis de criticidad es el mostrado en la figura 5.

Figura 6. Modelo básico de análisis de criticidad. Fuente: confiabilidad.net



El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

Para el campo del mantenimiento, el cual es el que nos compete, por ser el motivo de esta monografía, podemos decir que al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

5.4.1 Análisis de criticidad de factores ponderados basados en el concepto del riesgo. La metodología de análisis de criticidad basada en el concepto de riesgo, combina la probabilidad de ocurrencia de las fallas con sus consecuencias. Como resultado se puede elaborar un programa de inspección destinado a definir, cuantificar y controlar los riesgos asociados a fallas en los equipos, fijando prioridades y frecuencias de inspección.

Usando esta metodología se puede hacer una estimación del riesgo causado por fallas y sus consecuencias por medio de funciones de probabilidad.

El análisis de probabilidad de falla debe abarcar todos los mecanismos potenciales de falla a los cuales es susceptible el equipo que se está estudiando. Además, debe incluir la situación donde el equipo está susceptible a múltiples mecanismos de deterioro.

Este método fue desarrollado por el grupo de consultoría inglesa llamado: The Woodhouse Partnership Limited¹¹, y se caracteriza por ser bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo.

Este método utiliza para el cálculo de la criticidad la expresión:

CRITICIDAD = frecuencia de la falla X Consecuencia de la falla

Donde:

Frecuencia de falla = rango de fallas en un tiempo determinado

Consecuencia= [(impacto operacional X flexibilidad operacional) + costos de mantenimiento + impacto seguridad, ambiente e higiene]

En la tabla 2 se presentan ejemplos de los factores ponderados para cada uno de los principales criterios asociados a un análisis de criticidad.

¹¹ Woodhouse Jhon. Criticality Analysis Revisited. The Woodhouse Partnership Limited. Newbury, England: 1994

Tabla 2. Factores ponderados para criterios asociados a análisis de criticidad. Fuente: the Woodhouse Partnership

$$\text{Criticidad Total} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo Mto.} + \text{Impacto SAH})$$

| | | | |
|--|----|--|---|
| Frecuencia de Fallas: | | Costo de Mto.: | |
| Pobre mayor a 2 fallas/año | 4 | Mayor o igual a 20000 \$ | 2 |
| Promedio 1 - 2 fallas/año | 3 | Menor a 20000 \$ | 1 |
| Buena 0.5 -1 fallas/año | 2 | | |
| Excelente menos de 0.5 falla/año | 1 | | |
| Impacto Operacional: | | Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH): | |
| Pérdida de todo el despacho | 10 | Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización | 8 |
| Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas. | 7 | Afecta el ambiente/instalaciones | 7 |
| Impacta en niveles de inventario o calidad | 4 | Afecta las instalaciones causando daños severos | 5 |
| No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción | 1 | Provoca daños menores (ambiente - seguridad) | 3 |
| | | No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente | 1 |
| Flexibilidad Operacional: | | | |
| No existe opción de producción y no hay función de repuesto. | 4 | | |
| Hay opción de repuesto compartido/almacen | 2 | | |
| Función de repuesto disponible | 1 | | |

5.5 FMEA: FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS

El análisis de los modos de fallas y sus efectos (FMEA) y el análisis de criticidad de los modos de fallas y sus efectos (FMECA), son métodos de confiabilidad para identificar fallas, las cuales tienen consecuencias que afectan el funcionamiento de un sistema dentro los límites de una aplicación dada.¹²

FMEA inicia con las fallas básicas de los elementos y la estructura funcional del sistema, relacionando entre si las fallas de los elementos y fallas, malos

¹² BRITISH STANDARDS INTERNATIONAL. Reliability of system, equipment and components. BS 5760-5:1991. London: BSI, 1999. p. 1.

funcionamientos, restricciones operacionales, disminución de desempeño o integridad del sistema.

El análisis FMEA es desarrollado durante la concepción, planeación, fases de definiciones y fases de diseño y desarrollo de un sistema o equipo. FMEA hace parte de un programa de confiabilidad y mantenibilidad, el cual requiere de varias tareas y actividades. FMEA es un método inductivo para desarrollar análisis cualitativos en sistemas de confiabilidad o análisis de seguridad desde un bajo hasta un alto nivel de jerarquía.

5.5.1 Propósito de FMEA. Dentro de las razones para desarrollar FMEA tenemos: identificar fallas que producen efectos no deseados, cuantificar la confiabilidad, permitir mejoras en la confiabilidad de sistemas y diagnosticar fallas.¹³

Basado en estas razones, dentro de los objetivos de FMEA podemos especificar:

- Identificar y evaluar todos los efectos no deseados, dentro de la frontera del sistema analizado y las secuencias de eventos que genera los modos de fallas identificados en el componente, en los niveles de la jerarquía funcional.
- Determinar la criticidad de cada modo de falla, conociendo el impacto en la confiabilidad o seguridad del proceso.
- Clasificar los modos de fallas, de acuerdo a la detectabilidad, diagnosticabilidad, comprobabilidad, intercambiabilidad y mantenibilidad.
- Estimar medidas de probabilidad de fallas.

¹³ Ibid., p. 2

5.5.2 Principios de FMEA. FMEA debe aplicar los siguientes principios:¹⁴

- Definir con claridad los propósitos y usos de FMEA.
- Establecer y definir las relaciones con otros análisis de confiabilidad, a los cuales FMEA puede integrarse.
- Definir el alcance de FMEA en relación a la estructura funcional y estructura jerárquica de los sistemas descritos. Se debe definir el nivel más bajo en la jerarquía estructural del sistema por donde debe arrancar el análisis.
- Definir el formato de FMEA en una hoja de trabajo, la cual contendrá la siguiente información: el nombre del elemento en el sistema analizado, función desempeñada, número de identificación, modos, causas y efectos de fallas, métodos de detección de la falla y criticidad de efectos.

La figura 6 muestra un ejemplo de un formato de una hoja de trabajo de FMEA.

5.5.3 Modos de fallas. Un modo de falla es el efecto mediante el cual una falla es observada. El funcionamiento adecuado de un sistema depende del desempeño de ciertos elementos críticos, por lo cual estos elementos críticos deben ser identificados dentro del sistema, junto con sus modos de fallas.¹⁵

El procedimiento para identificar los modos de fallas, sus causas y los efectos, puede ser mejorado si se realiza un listado previo de los modos de fallas basados en el uso del sistema, el modo y las especificaciones de operación, las especificaciones operacionales, el tiempo de restricción y el medio ambiente.

¹⁴ Ibid., p. 3.

¹⁵ Ibid., p. 1-9

En FMEA, los modos de fallas, las causas de las fallas y los efectos de las fallas dependen del nivel de análisis. En el análisis, a medida que se desarrolla los efectos de fallas identificados en el nivel más bajo puede convertirse en el modos de falla de del nivel más alto, como también el modo de falla en el nivel más bajo puede convertirse en la causa de falla del nivel más alto.

Figura 7. Ejemplo de un formato para desarrollar un FMEA. Fuente Norma BS 5760-5:1991

| FMEA | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------|--------------------|--------------|-------------------------|---------------------|--------------|-----------------------|--|----------------|----------------------|-------------|-----------------------------------|
| Indenture level: | | | Design by: | | | Prepared by: | | | | | | |
| Sheet no: | | | Item: | | | Approved by: | | | | | | |
| Mission phase: | | | Issue: | | | Date: | | | | | | |
| Item ref. | Item description-function | Failure entry code | Failure mode | Possible failure causes | Symptom detected by | Local effect | Effect on unit output | Compensating provision against failure | Severity class | Failure rate (F/Mhr) | Data source | Recommendations and actions taken |
| | | | | | | | | | | | | |

Figure 1 — Example of the format of an FMEA worksheet

BS 5760-5:1991

La figura 7 muestra un listado que describe algunos modos de fallas. Los modos de fallas pueden tener varias causas y es importante que todos los elementos dentro de las fronteras en los niveles más bajos se les identifiquen todos los modos de fallas potenciales.

Figura 8. Listado de modos de fallas. Fuente: Norma BS 5760-5:1991

| | | | |
|---|----------------------------|----|----------------------|
| 1 | Cracked/fractured | 21 | Binding/jamming |
| 2 | Distorted | 22 | Loose |
| 3 | Undersize | 23 | Incorrect adjustment |
| 4 | Oversize | 24 | Seized |
| 5 | Fails to open | 25 | Worn |
| 6 | Fails to close | 26 | Sticking |
| 7 | Fails open | 27 | Overheated |
| 8 | Fails closed | 28 | False response |
| 9 | Internal leakage | 29 | Displaced |
| 10 | External leakage | 30 | Delayed operation |
| 11 | Fails to stop | 31 | Burned |
| 12 | Fails to start | 32 | Collapsed |
| 13 | Corroded | 33 | Overloaded |
| 14 | Contaminated | 34 | Omitted |
| 15 | Intermittent operation | 35 | Incorrect assembly |
| 16 | Open circuit | 36 | Scored |
| 17 | Short circuit | 37 | Noisy |
| 18 | Out of tolerance (drifted) | 38 | Arcing |
| 19 | Fails to operate | 39 | Unstable |
| 20 | Operates prematurely | 40 | Chafed |
| NOTE This list is an example only. The modes contained in the list cannot be applied to all items and the list is not exhaustive. | | | |

5.5.4 Causas de las fallas. Los modos de fallas asociados con sus posibles causas deben ser identificados y descritos con el fin de estimar su probabilidad de ocurrencia, para tener en cuenta los efectos secundarios y establecer las acciones correctivas correspondientes. Cada modo de falla puede tener más de una causa, por lo tanto, toda causa de falla potencial para cada modo de falla debe identificarse y describirse.

La figura 8 muestra un listado de posibles causas de fallas.

5.5.5 Efectos de fallas. Llamamos efectos de fallas a las consecuencias de un modo de falla en términos del impacto causado en producción, medio ambiente y funcionamiento de un sistema o equipo.¹⁶

¹⁶ *Ibíd.*, p. 11-12

Figura 9. Listado de posibles causas de fallas. Fuente Norma BS 5760-5:1991

| Type | Examples |
|-----------------------|---|
| Specification | Omitted statements Erroneous statements Support system failure |
| Design | Misapplication Design error Design omission Support equipment failure |
| Manufacture | Omitted action Erroneous action Procedural error Manufacturing equipment failure |
| Installation | Omitted action Erroneous action Procedural error Installation equipment failure |
| Operation | Omitted action Erroneous action Procedural error Off-line equipment failure |
| Maintenance | Omitted action Erroneous action Procedural error Maintenance equipment failure |
| Environment | Temperature Humidity Vibration Corrosion |
| Uncontrollable forces | Fire Flood Earthquake Explosion |

Un efecto de falla puede causar uno o más modos de fallas en uno o más elementos. Las consecuencias de cada modo de falla, deben ser identificadas, evaluadas y registradas.

Un efecto de falla puede afectar un nivel superior, por lo tanto, los efectos de las fallas en los niveles superiores deben ser evaluados.

5.5.6 Información requerida en un FMEA. Para el desarrollo de un FMEA, se debe contar con la siguiente información:¹⁷

- Estructura del sistema: definir los elementos de un sistema con sus características, establecer conexiones lógicas entre los elementos, entradas y salidas del sistema.
- Operación, control y mantenimiento del sistema: Las diferentes condiciones de operación deben ser especificadas, como también los cambios en la configuración o la posición de los sistemas y sus componentes durante las diferentes fases operacionales.
- Sistema ambiental: Las condiciones ambientales del sistema deben especificarse, incluyendo además las condiciones ambientales creadas por el sistema vecino.
- Modelamiento: FMEA requiere un sistema de modelamiento para suponer naturaleza de los modos de fallas y las serias consecuencias.
- Fronteras del sistema: La frontera debe ser bien definida para facilitar la integración de FMEA con otros estudios relacionados en los programas de confiabilidad.
- Estructura funcional del sistema: El análisis debe iniciar por la selección del nivel de interés más bajo, en el cual hay suficiente información disponible.

¹⁷ Ibid., p. 14

- Representación de la estructura del sistema: Representaciones simbólicas de la estructura y operación del sistema, especialmente diagramas pueden utilizarse.
- Criticidad de las fallas y disposiciones compensatorias: la significancia relativa de las fallas deben registradas en la hoja de trabajo de FMEA. Las disposiciones que deben tomarse para evitar fallas incluye redundancias, monitoreo de mecanismos de alarmas, mecanismos alternativos de operación y otros mecanismos que limiten los daños.

5.6 NORMA ISO 14224

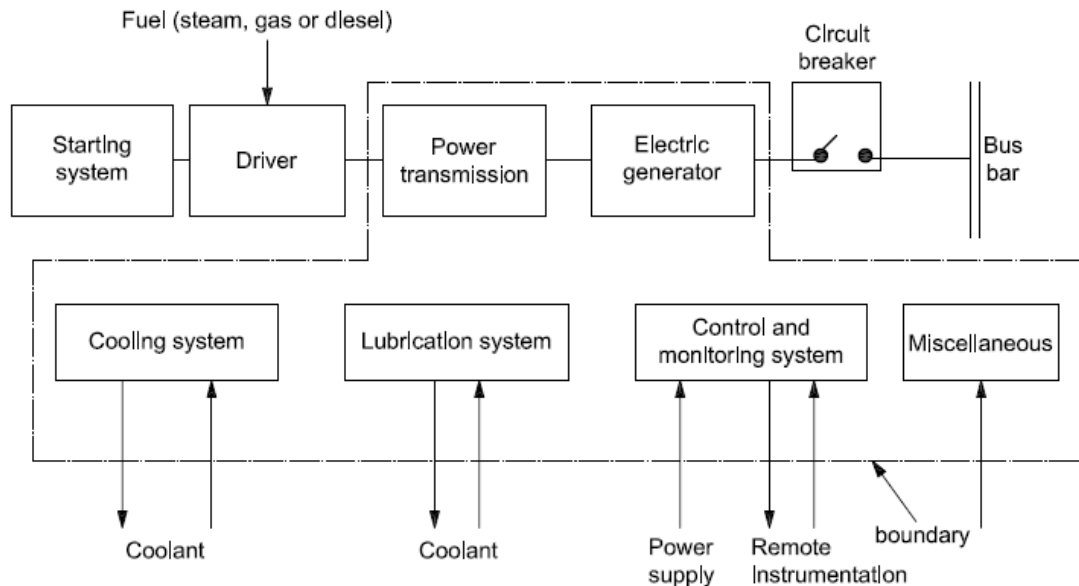
La norma internacional ISO 14224: recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos de la industria de petróleo, petroquímica y gas natural; proporciona una base exhaustiva para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para los equipos en todas las instalaciones y operaciones dentro de la industria petrolera, petroquímica y de gas natural, durante el ciclo operacional de vida del equipo. Esta norma describe los principios de recolección de datos y asocia términos y definiciones que construyen un lenguaje de confiabilidad, que puede ser útil para comunicar la experiencia operacional. Los modos de fallas definidos en la parte normativa de este estándar internacional, se pueden utilizar en aplicaciones cuantitativas, como para aplicaciones cualitativas.¹⁸

La estandarización de las prácticas de recolección de datos facilita el intercambio de información entre plantas, fabricantes, contratistas y propietarios.

¹⁸ BRITISH STANDARDS INTERNATIONAL. Petroleum, petrochemical and natural gas industries: collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BS EN ISO 14224: 2006. London: BSI, 2007. p.1.

5.6.1. Definiciones de fronteras y taxonomía. La frontera nos define los límites que abarca una clase de equipo y por lo tanto nos permite entender cuáles son los tipos de falla (confiabilidad) y eventos de mantenimiento que deben registrarse. La figura 10 muestra la frontera establecida para un generador eléctrico.

Figura 10. Definición de una frontera para un generador eléctrico. Fuente: norma ISO 14224:2006



Establecer la adecuada frontera es necesario para recolectar, fusionar, y analizar datos de mantenimiento y confiabilidad en diferentes plantas e industrias.

La frontera establecida debe mostrar los componentes y equipos principales de los niveles más bajo y las interfases con los alrededores.

Descripción textual adicional, cuando sea necesaria mayor claridad, se debe colocar detalladamente en las entradas y salidas de las fronteras.

Se recomienda las siguientes reglas para la definición de las fronteras:

- Excluir los elementos conectados de los límites de la unidad de equipo, a menos que se especifiquen que deben estar incluidos en la frontera. Las fallas presentadas en una conexión (por ejemplo, fugas) y que no se relacionan únicamente con el elemento, deben incluirse dentro de los límites de la frontera.
- Si el motor y la unidad conducida, utilizan la misma subunidad en común (por ejemplo, el sistema de enfriamiento), relacione las fallas y los eventos de mantenimiento en la subunidad, con la unidad conducida.
- Incluir instrumentación sólo donde se tenga una función de control y/o monitoreo para la unidad del equipo en cuestión y/o está montada localmente en la unidad del equipo. La instrumentación de control y supervisión de uso más general (por ejemplo, sistemas SCADA) no deberá incluirse.

La taxonomía es una clasificación sistemática de elementos en grupos genéricos basados en factores comunes a varios de los elementos (localización, uso, equipo, subdivisión, etc.)¹⁹

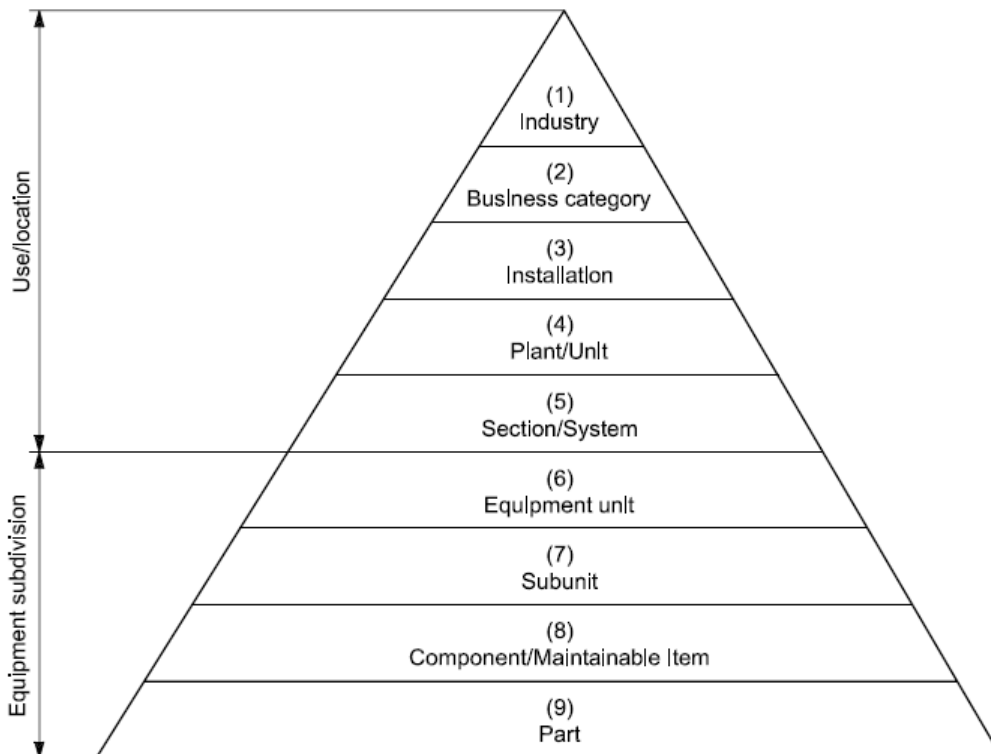
La figura 11 muestra una representación jerárquica basado en el estándar ISO 14224, donde se ilustra una clasificación de datos relevantes que han sido recolectados.

Los niveles 1 a 5 representan las categorías de alto nivel, las cuales relacionan a las industrias y plantas, independientemente de las unidades de equipos utilizados. Esto se da porque una unidad de equipo, puede usarse en industrias y plantas de configuraciones diferentes y para análisis de confiabilidad de equipos similares, se hace necesario tener el contexto operacional. La información

¹⁹ Ibid., p. 18.

taxonómica de estos niveles debe incluirse en la base de datos para cada unidad de equipo como datos de uso/localización.

Figura 11. Ejemplo de taxonomía. Fuente: norma ISO 14224:2006



Los niveles 6 a 9 relacionan la unidad de equipo con las subdivisiones en los niveles más bajos. La norma ISO 14224 se basa en el nivel 6, correspondiente a la unidad de equipo para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento. También se enfoca en los niveles más bajos como las subunidades y componentes.

Los datos a recolectarse para mantenimiento y confiabilidad, dependerán del número de subdivisiones de los niveles, de la complejidad de la unidad de equipo y del uso que va hacerse de los datos.

Los datos de confiabilidad y mantenimiento van relacionados con ciertos niveles dentro de la jerarquía taxonómica. Los modos de fallas se relacionan con las unidades de equipos y los mecanismos de fallas van relacionados con los niveles más bajos (componente).

5.6.2 Datos recomendados para equipos, fallas y mantenimiento.²⁰

5.6.2.1 Datos de unidad de equipos. Estos datos se caracterizan por lo siguiente:

- Clasificación de datos, ejemplo: industria, planta, localización, sistemas.
- Atributos de equipos, ejemplo: datos de fabricante, características de diseño.
- Datos de operación, ejemplo: modo de operación, ambiente, potencia de funcionamiento

5.6.2.2 Datos de fallas. Estos datos se caracterizan por lo siguiente:

- Identificación de los datos, ejemplo: registro del número de fallas relacionadas con los equipos que han fallado.
- Caracterización de los datos de fallas, ejemplo: fechas de fallas, componente que falló, modo de falla, causa de falla, método de detección de las fallas.

5.6.2.3 Datos de mantenimiento. Estos datos se caracterizan por lo siguiente:

²⁰ Ibid., p. 22-23

- Identificación de los datos, ejemplo: registro del número de mantenimientos, relación de falla y/o registro de equipos.
- Datos de mantenimiento, parámetros característicos en una acción de mantenimiento, ejemplo: fecha de mantenimiento, categoría de mantenimiento, actividad de mantenimiento, impacto de mantenimiento, componentes mantenibles.
- Recursos de mantenimiento, horas hombre de mantenimiento totales y por disciplina, utilización de recursos/equipos aplicados.
- Tiempos de mantenimientos, tiempos activos de mantenimiento, paradas no programadas.

5.6.3 Datos de equipos. La recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento, está basada en los parámetros técnicos, operacionales y ambientales de los equipos. La obtención de esta información es necesaria para determinar si los datos son aconsejables o validados para diferentes aplicaciones.²¹

Para el estándar de la norma ISO 14224, se muestra la figura 12, donde se muestran los datos mínimos que deben ser recolectados (datos mostrados con asterisco). La figura muestra los datos comunes a todas las clases de equipos.

²¹ Ibid., p. 25-26

Figura 12. Datos mínimos a recolectar para los equipos. Fuente: norma ISO 14224:2006

| Data category | Data | Taxonomic level ^a | Business category (examples) | | | |
|--|---|------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | | | Upstream (E & P) | Midstream | Downstream (refining) | Petro-chemical |
| Use/ Location attributes | Industry | 1 | Petroleum | Natural gas | Petroleum | Petrochemical |
| | Business category (*) | 2 | E & P | Midstream | Refining | Petrochemical |
| | Installation category | 3 | Oil/gas production | Pipeline | Refinery | Petrochemical |
| | Installation code or name (*) | 3 | Delta | Beta gas line | Charlie refinery | Delta chemical |
| | Owner code or name | 4 | Smith Ltd. | Johnsen Inc. | JPL Corp. | ABC ASA |
| | Geographic location | 3 | UKCS | Europe | Mid-west USA | UK |
| | Plant/Unit category (*) | 4 | Oil/gas platform | Compressor station | Hydro-cracker | Ethylene cracker |
| | Plant/Unit code or name (*) | 4 | Alpha 1 | CS 3 | HH 2 | EC 1 |
| | Section/System (see Annex A) (*) | 5 | Oil processing | Compression | Reaction | Reaction system |
| Operation category | 5 | Remote control | Remote control | Manned | Manned | |
| Data category | Data | Taxonomic level ^a | Business category (examples) | | | |
| | | | Upstream (E & P) | Midstream | Downstream (refining) | Petro-chemical |
| Equipment attributes | Equipment class (see Annex A) (*) | 6 | Pump | Compressor | Heat exchanger | Heater |
| | Equipment Type (see Annex A) (*) | 6 | Centrifugal | Centrifugal | Shell and tube | Fired |
| | Equipment identification/ Location (e.g. tag number) (*) ^b | 6 | P101-A | C1001 | C-21 | H-1 |
| | Equipment description (nomenclature) | 6 | Transfer | Main compressor | Reactor effluent | Charge heater |
| | Unique equipment identification number ^b | 6 | 12345XL | 10101 | Cxy123 | 909090 |
| | Manufacturer's name (*) | 6 | Johnson | Wiley | Smith | Anderson |
| | Manufacturer's model designation | 6 | Mark I | CO ₂ | GTI | SuperHeat A |
| | Design data relevant for each equipment class and subunit/component as applicable, e.g. capacity, power, speed, pressure, redundancy, relevant standard(s) (see also Annex A) | 6 | Equipment-specific | Equipment-specific | Equipment-specific | Equipment-specific |
| Operation (normal use) | Normal operating state/Mode (*) | 6 | Running | Active standby | Intermittent | Running |
| | Initial equipment commissioning date | 6 | 2003.01.01 | 2003.01.01 | 2003.01.01 | 2003.01.01 |
| | Start date of current service (*) | 6 | 2003.02.01 | 2003.02.01 | 2003.02.01 | 2003.02.01 |
| | Surveillance time, h (calculated) (*) | 6 | 8 950 | 8 000 | 5 400 | 26 300 |
| | Operational time, h (measured/calculated) | 6 | 3 460 | 100 | 5 200 | 4 950 |
| | Number of demands during the surveillance period as applicable (includes both operational and test activation) (*) | 6 | 340 | 2 | N.A. | N.A. |
| | Operating parameters as relevant for each equipment class; e.g. ambient conditions, operating power (see Annex A) | 6 | Equipment-specific | Equipment-specific | Equipment-specific | Equipment-specific |
| Additional information | Additional information in free text as applicable | 6 | Specify as needed | Specify as needed | Specify as needed | Specify as needed |
| | Source of data, e.g. P & ID, data sheet, maintenance system | 6 | Specify as needed | Specify as needed | Specify as needed | Specify as needed |
| ^a See definitions in Figure 3. | | | | | | |
| ^b The serial number is required for potential change-out at the equipment level. The tag number identifies only the physical location of equipment in the plant. If the equipment is replaced with, e.g. an overhauled unit, the tag number remains the same but the serial number changes. | | | | | | |
| (*) Indicates the minimum data that is required to be collected. | | | | | | |

6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN

Como se mencionó anteriormente el área de precipitación de la compañía Dow Agrosciences tiene como equipos rotativos tres (3) agitadores, Un (1) sistema de giro y un (1) sistema de desplazamiento vertical para el alabe raspador del filtro, cuatro (4) bombas centrifugas, una (1) bomba de cavidad progresiva y un (1) molino coloidal, cada uno de estos equipos posee su motor eléctrico, lo que representa 22 equipos rotativos en el área de precipitación a los cuales se le realizó análisis de criticidad.

Este análisis de criticidad se realizó en conjunto con el ingeniero de confiabilidad de Wood Group y personal técnico mecánico y eléctrico del departamento de mantenimiento de DOW.

Inicialmente se realizó una definición taxonómica a los equipos de la planta. La tabla 3 muestra la definición taxonómica de un agitador.

Tabla 3. Definición taxonómica de la empresa Dow Agrosciences según norma ISO 14224, relacionando hasta los niveles más bajos de un agitador.

| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Categoría de negocio |
|-----------------------------------|----------------------|------------------|---|
| Datos de localización /uso | Industria | 1 | Química |
| | Categoría de negocio | 2 | Agroquímicos |
| | Instalación | 3 | Fungicidas |
| | Planta/unidad | 4 | Síntesis de Mancozeb |
| | Sección/sistema | 5 | Precipitación |
| Subdivisión de equipos | Clase de equipo | 6 | Agitador |
| | Subunidad | 7 | Transmisión potencia |
| | | 7 | Unidad de agitador |
| | Item Mantenible | 8 | Ejes, engranajes, rodamientos, retenedores, acoples |
| | | 8 | Eje, rodamiento, alabes, buje. |

En las tabla 4 a la 14 se enumeran los datos técnicos de los 22 equipos rotativos del área de precipitación en el nivel de jerarquía 6 según norma ISO 14224.

Tabla 4. Datos técnicos motor y agitador de precipitación. Fuente: los autores

| Datos técnicos Motor Agitador de Precipitación | | | |
|--|---------------------------------|------------------|----------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MA-20301 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Chalmer |
| | Datos de diseño | 6 | 1740 RPM, 25HP, 440V, 60HZ |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2002 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos técnicos Agitador de Precipitación | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Agitador |
| | Tipo de equipo | 6 | Hélice |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | A-20301 |
| | Nombre del fabricante | 6 | CMR |
| | Datos de diseño | 6 | Reductor ejes paralelos RPM entrada: 1740, i=30.52, RPM salida=57, Acople flexible, eje agitador acero inoxidable 304, 4 aspas. |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 1995 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 5. Datos técnicos motor y agitador de tanque intermedio. Fuente: los autores

| Datos técnicos Motor Agitador tanque intermedio | | | |
|---|---------------------------------|------------------|----------------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MA-20101 |
| | Nombre del fabricante | 6 | WEG |
| | Datos de diseño | 6 | Motor 3HP, 1730 RPM, 60HZ, 440V. |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2009 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos técnicos Agitador tanque intermedio | | | |
|---|---------------------------------|------------------|--|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Agitador |
| | Tipo de equipo | 6 | Radial |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | A-20101 |
| | Nombre del fabricante | 6 | American General |
| | Datos de diseño | 6 | Transmisión por correa: i= 1:5, Reductor engranajes cónicos, i =1:3, RPM entrada: 346, RPM salida: 115. Eje agitador SS304, 4 aspas. |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 1992 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 6. Datos técnicos motor y bomba de tanque intermedio. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Bomba Tanque Intermedio | | | |
|--|---------------------------------|------------------|--------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MP-20101 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | 5HP, 1735RPM, 440V, 60HZ |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2007 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Bomba Tanque Intermedio | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Bomba |
| | Tipo de equipo | 6 | Centrífuga |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | P-20101 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Goulds |
| | Datos de diseño | 6 | Modelo 3196MT, 1x2x8, 5HP, 1735, 50GPM, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2004 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 7. Datos técnicos motor y bomba de materia prima 4. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Bomba Materia Prima 4 | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MP-20201 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | 7.5HP, 1740RPM, 440V, 60HZ,440V, 60HZ |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2006 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Bomba Materia Prima 4 | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|---|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Bomba |
| | Tipo de equipo | 6 | Centrifuga |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | P-20201 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Goulds |
| | Datos de diseño | 6 | Bomba Goulds, 3196MT, 1-1/2x3x10, 7.5HP, 1740, 80GPM, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2006 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 8. Datos técnicos motorreductor y bomba cavidad progresiva. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motorreductor Bomba Cavidad Progresiva | | | |
|---|---------------------------------|------------------|-----------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motorreductor |
| | Tipo de equipo | 6 | Helicoidal |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MP-20301 |
| | Nombre del fabricante | 6 | SEW |
| | Datos de diseño | 6 | 12HP, 1750RPM, i=7.84 |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2009 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Bomba Cavidad Progresiva | | | |
|---|---------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Bomba |
| | Tipo de equipo | 6 | Cavidad Progresiva |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | P-20301 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Moyno |
| | Datos de diseño | 6 | 223RPM, 12 HP, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2009 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 9. Datos técnicos motor y sistema de desplazamiento vertical. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Sistema desplazamiento Vertical Aspa Raspadora del Filtro | | | |
|--|---------------------------------|------------------|----------------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | ML-20502 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | Motor de 1HP, 852RPM, 60HZ, 440V |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 1994 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Sistema desplazamiento Vertical Aspa Raspadora del Filtro | | | |
|--|---------------------------------|------------------|--|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Reductor |
| | Tipo de equipo | 6 | Sinfín corona |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | SV-20502 |
| | Nombre del fabricante | 6 | SEW |
| | Datos de diseño | 6 | Reductor sinfín corona, 1HP, RPM entrada=852RPM, 60HZ, 440V i=142, RPM salida=6 Sistema de embrague de disco Velocidad tornillo potencia ACME: 0,05 m/min |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 1982 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 10. Datos técnicos motor y sistema de giro. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Sistema de Giro Aspa Raspadora del Filtro | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MA-20501 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | 15HP, 60HZ, 440V, 1750RPM |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2003 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Sistema de Giro Aspa Raspadora del Filtro | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Filtro |
| | Tipo de equipo | 6 | Aspa raspadora |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | A-20501 |
| | Nombre del fabricante | 6 | CMR |
| | Datos de diseño | 6 | Transmisión por correa. RPM entrada reductor: 1300, i=130 RPM salida: 10, RPM aspa raspadora = 10 Aspa raspadora de Acero inoxidable 304, 1.8m diámetro. Eje giratorio: Acero inoxidable 304 y acero al carbono |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 1982 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 11. Datos técnicos motor y bomba de filtrado. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Bomba de Filtrado | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MP-20502 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | 5HP, 1150 RPM, 440V, 60HZ |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2008 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Bomba de Filtrado | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------|--|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Bomba |
| | Tipo de equipo | 6 | Centrifuga |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | P-20502 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Goulds |
| | Datos de diseño | 6 | Modelo:3196MT, 1-1/2x3x10, 5HP, 1150, 50GPM, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2007 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 12. Datos técnicos motorreductor y agitador de regeneración. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motorreductor Agitador de Regeneración | | | |
|---|---------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motorreductor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MA-20401 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Flender |
| | Datos de diseño | 6 | 8.8HP, 1740RPM, i=8.11, 60HZ, 440V |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2010 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Agitador de Regeneración | | | |
|---|---------------------------------|------------------|--|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Agitador |
| | Tipo de equipo | 6 | Radial |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | A-20401 |
| | Nombre del fabricante | 6 | American General |
| | Datos de diseño | 6 | Reductor de engranajes cónicos, i =1:3, RPM entrada: 214, RPM salida: 71.5. Eje agitador SS304, 4 aspas, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 1992 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 13. Datos técnicos motor y bomba de regeneración. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Bomba de Regeneración | | | |
|--|---------------------------------|------------------|----------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MP-20401 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | 10HP, 1750 RPM, 440V, 60HZ |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2008 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Bomba de Regeneración | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|---|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Bomba |
| | Tipo de equipo | 6 | Centrifuga |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | P-20401 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Goulds |
| | Datos de diseño | 6 | Modelo: 3196MT, 2x3x10, 10HP, 1750, 160GPM, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2006 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Tabla 14. Datos técnicos motor y molino coloidal. Fuente: los autores

| Datos Técnicos Motor Molino Helicoidal | | | |
|--|---------------------------------|------------------|---------------------------|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Motor |
| | Tipo de equipo | 6 | Eléctrico |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | MM-20402 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Siemens |
| | Datos de diseño | 6 | 50HP, 3550RPM, 60HZ, 440V |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2011 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

| Datos Técnicos Molino Helicoidal | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------|---|
| Categoría de datos | Datos | Nivel taxonómico | Descripción |
| Características del equipo | Clase de equipo | 6 | Molino |
| | Tipo de equipo | 6 | Coloidal |
| | Identificación del equipo (TAG) | 6 | M-20402 |
| | Nombre del fabricante | 6 | Probst & Class |
| | Datos de diseño | 6 | Tipo Estator-rotor acero SS304, 120GPM, acople flexible |
| Operación | Estado de operación | 6 | Trabajo continuo |
| | Año de inicio de operación | 6 | 2011 |
| | Tiempo recolección de datos (h) | 6 | 26280 |

Para la realización del análisis de criticidad se utilizó el método de los factores ponderados basados en el concepto del riesgo; método desarrollado por la firma de consultoría The Woodhouse Partnership Limited.

Para la aplicación, recordemos las ecuaciones de criticidad, frecuencia y consecuencias de fallas:

CRITICIDAD = Frecuencia de fallas (MTBF) x consecuencia de la falla

Consecuencias = [(Impacto operacional x flexibilidad) + Costos de mantenimiento + Impacto en seguridad, ambiente e higiene] (ec.)

A continuación, en la tabla 16 se presenta los factores ponderados a ser utilizados en el presente análisis de criticidad.

Tabla 15. Factores ponderados para análisis de criticidad equipos rotativos del área de precipitación

| Criterios para la criticidad de equipos | |
|---|---------------------|
| Frecuencia de falla | Calificación |
| Pobre, MTBF ≤ 0.5 año | 4 |
| Promedio, 0.5 < MTBF ≤ 1 año | 3 |
| Buena, 1 < MTBF ≤ 3 años. | 2 |
| Excelente, MTBF > 3 años | 1 |
| Impacto operacional | |
| Parada de planta > 3 días | 10 |
| 1 día < Parada de planta ≤ 3 días | 7 |
| 8h < Parada de planta ≤ 1 día | 4 |
| Parada de planta ≤ 8 horas | 1 |
| Flexibilidad Operacional | |
| No existe opción de producción y no hay función de repuesto | 4 |
| Hay opción de repuesto compartido | 2 |
| Función de repuesto disponible | 1 |
| Costos de mantenimiento | |
| Mayor o igual \$15.000.000 | 2 |
| Menor a \$15.000.000 | 1 |
| Impacto en seguridad, Ambiente e Higiene | |
| Afecta la seguridad humana tanto externa, como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización | 8 |
| Afecta el ambiente | 7 |
| Afecta las instalaciones causando daños severos | 5 |
| Provoca daños menores (ambiente-seguridad) | 3 |
| No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o ambiente | 1 |

Aplicación de criterios bajo el método de factores ponderados basados en el concepto del riesgo a los equipos rotativos del área de precipitación de la empresa DOW AGROSCIENCES en Barranquilla.

Tabla 16. Desarrollo de la matriz de criticidad para los equipos rotativos del área de precipitación. Fuente: los autores

| CANTIDAD | DESCRIPCION DEL EQUIPO | TAG | IMPACTO OPERACIONAL | FLEXIBILIDAD OPERACIONAL | COSTOS MANTENIMIENTO | IMPACTO HSE | FRECUENCIAS DE FALLAS | CONSECUENCIAS | VALOR CRITICIDAD | NIVEL CRITICIDAD |
|----------|--|----------|---------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|---------------|------------------|------------------|
| 1 | Motor Agitador Precipitación | MA-20301 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | No Crítico |
| 2 | Agitador de Precipitación | A-20301 | 10 | 4 | 2 | 1 | 3 | 43 | 129 | Crítico |
| 3 | Motor Agitador Tanque Intermedio | MA-20101 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | No Crítico |
| 4 | Agitador Tanque Intermedio | A-20101 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 | No Crítico |
| 5 | Motor Bomba Tanque Intermedio | MP-20101 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | No Crítico |
| 6 | Bomba Tanque Intermedio | P-20101 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 10 | No Crítico |
| 7 | Motor Bomba Materia Prima 4 | MP-20201 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 6 | No Crítico |
| 8 | Bomba Materia Prima 4 | P-20201 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 10 | No Crítico |
| 9 | Motorreductor Bomba Cavidad Progresiva | MP-20301 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 6 | No Crítico |
| 10 | Bomba Cavidad Progresiva | P-20301 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 9 | 18 | No Crítico |
| 11 | Motor Sistema Desplazamiento Vertical Filtro | ML-20502 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 8 | No Crítico |
| 12 | Sistema Desplazamiento Vertical Fitro | SV-20502 | 10 | 4 | 2 | 1 | 4 | 43 | 172 | Crítico |
| 13 | Motor Sistema de Giro Aspa Raspadora Filtro | MA-20501 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 | No Crítico |
| 14 | Sistema de Giro Aspa Raspadora Filtro | A-20501 | 10 | 4 | 2 | 1 | 1 | 43 | 43 | Crítico |
| 15 | Motor Bomba de Filtrado | MP-20502 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | No Crítico |
| 16 | Bomba de Filtrado | P-20502 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 6 | 6 | No Crítico |
| 17 | Motorreductor Agitador Regeneración | MA-20401 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | No Crítico |
| 18 | Agitador de Regeneración | A-20401 | 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 17 | 17 | No Crítico |
| 19 | Motor Bomba de Regeneración | MP-20401 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | No Crítico |
| 20 | Bomba de Regeneración | P-20401 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 6 | 6 | No Crítico |
| 21 | Motor Molino Coloidal | MM-20402 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 6 | 6 | No Crítico |
| 22 | Molino Coloidal | M-20402 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 7 | 21 | Medio Crítico |

Se utiliza la matriz de criticidad según modelo de The Woodhouse Partnership Limited para establecer cuales son los equipos críticos del área de precipitación.

Tabla 17. Matriz de criticidad. Fuente The Woodhouse Partnership Limited.

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

La tabla 19, relaciona las cantidades de equipos de acuerdo a su criticidad, las cuales fueron obtenidas aplicando las tablas 17 y 18.

Tabla 18. Relación de equipos críticos según matriz de criticidad. Fuente: los autores

| RELACION DE EQUIPOS SEGÚN MATRIZ DE CRITICIDAD | | |
|--|------------|---------------------|
| DESCRIPCION EQUIPOS | CANTIDADES | RELACION PORCENTUAL |
| No Críticos | 18 | 81,8% |
| Medio Críticos | 1 | 4,5% |
| Críticos | 3 | 13,7% |
| TOTAL | 22 | 100% |

De acuerdo a los resultados mostrados en esta tabla, el desarrollo de los análisis de modos de fallas (FMEA) para establecer las estrategias de mantenimiento, únicamente se aplicarán a los 3 equipos críticos. Estos equipos son:

- Agitador del tanque de precipitación
- Sistema de desplazamiento vertical del aspa raspadora del filtro
- Sistema de giro del aspa raspadora del filtro.

7. FMEA A LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL ÁREA DE PRECIPITACIÓN

Una vez obtenidos los equipos críticos del área de precipitación en la empresa Dow Agrosiences, se realizó a cada uno, un análisis de modos de fallas y sus efectos para establecer las actividades de mantenimiento que estén acordes a la realidad actual de la planta.

Iniciamos definiendo las fronteras y funciones de los equipos, según norma ISO 14224.

En las tablas 19, 20, y 21 están definidas las funciones, interfases, fronteras, condiciones ambientales, condiciones operacionales y especificaciones técnicas para los equipos críticos:

- Sistema de desplazamiento vertical del aspa raspadora del filtro.
- Sistema de giro del aspa raspadora del filtro.
- Agitador del tanque de precipitación

En las tablas 22 y 23 se presenta la descripción de los componentes y el desarrollo del FMEA para el sistema de desplazamiento vertical del aspa raspadora; en las tablas 24 y 25 se presenta la descripción de los componentes y el desarrollo del FMEA para el sistema de giro del aspa raspadora del filtro; en las tablas 26 y 27 se presenta la descripción de los componentes y el desarrollo del FMEA para el agitador del tanque de precipitación

Tabla 19. Definición de funciones para el sistema de desplazamiento vertical del aspa raspadora del filtro. Fuente: Dow Agrosciences

| ELEMENTO DE ESTUDIO | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO | CONDICIONES OPERACIONALES | CONDICIONES AMBIENTALES | FRONTERAS | INTERFASES | Cód Fun. | FUNCIONES |
|---|---|--|--|--|---|----------|---|
| Mecanismo de desplazamiento vertical del aspa raspadora del filtro | MARCA SISTEMA: C.M.R. CONTRUZIONI METALURGICHE RIUNITE Tipo: MDCVF13; Diseño: 4DET-893. -Reductor SEW de 1HP, 60HZ, 440V, RPM entrada 852, RPM salida 5,6. i = 142. - Limitador de torque por fricción con discos de asbesto. - Mecanismo elevación: Tornillo potencia rosca ACME y buje de bronce. - RPM tornillo potencia: 5,6 - Avance tornillo potencia: 0,053m/min | Temperatura de operación: 45°C Presión operación: atmosférica. Kg producto a desplazar. 2000 de Torta de Maneb después de filtrada. Niveles de ruido por debajo de 60db. Flujo descarga de producto por compuerta: 154 Kg/min Carrera permitida eje: 0,7m % Humedad producto después de filtrado: 20 | Temperatura ambiente: 38°C Humedad relativa: 84% Equipo bajo techo, pero expuesto a la humedad, polvo y salinidad. | Entra en análisis - Reductor - Limitador de torque - Tornillo de izaje (ACME) No entra en análisis - Motor del sistema de desplazamiento vertical. - Tanque del filtro - Instrumentación asociada al sistema de desplazamiento vertical | Entradas - Energía mecánica (torque de reductor). - Producto con agua a 35°C. - Energía eléctrica a 24V (switches posición). - Energía eléctrica a 440V. - Calor (fricción embragues y engranajes). - Grasa y aceite para lubricar. Salidas - Energía mecánica (movimiento tornillo de izaje) - Maneb a 40°C. - Agua a 30°C. - Energía eléctrica a 24V (Señales a PLC) - Calor (fricción entre aspa y producto) | SDV01 | Desplazar verticalmente hacia arriba y hacia abajo el aspa raspadora a razón de 0,053m/min. |
| | | | | | | SDV02 | Avanzar verticalmente sin ruido y vibraciones |
| | | | | | | SDV03 | Mantener rigidez el mecanismo de transmisión con respecto al filtro. |
| | | | | | | SDV04 | Desactivar el sistema de embrague de discos en caso de sobrecarga mecánica |
| | | | | | | SDV05 | Contener aceite de reductor y grasa que lubrica tornillo y rodamientos. |
| | | | | | | SDV06 | Mantener el mecanismo de transmisión limpio, sin corrosión y oxidación. |
| | | | | | | SDV07 | Avanzar verticalmente cuando reciba señal del PLC o de forma manual. |
| | | | | | | SDV08 | Mantener microswitches de posición activos mientras el eje avanza. |
| | | | | | | SDV09 | Enviar señales de desplazamiento vertical del eje al PLC |

Tabla 20. Definición de funciones para el sistema de giro del aspa raspadora. Fuente: Dow Agrosciences

| ELEMENTO DE ESTUDIO | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO | CONDICIONES OPERACIONALES | CONDICIONES AMBIENTALES | FRONTERAS | INTERFASES | Cód. Fun. | FUNCIONES |
|--|--|---|--|---|---|-----------|--|
| Sistema de giro del aspa raspadora del filtro | MARCA SISTEMA: C.M.R. CONTRUZIONI METALURGICHE RIUNITE Tipo: 1350-3K10; Diseño: 4DET-894. - Reductor CMR de 15 HP. - Transmisión por correa. - RPM entrada reductor: 1230 - RPM salida: 10, RPM aspa raspadora = 10 - i= 123 - Aspa raspadora de Acero inoxidable 304, 2.6m diámetro. - Eje giratorio: Acero inoxidable y acero al carbono. | Temperatura de operación: 45°C Presión operación: atmosférica. Kg producto a desplazar: 2000 de Torta de Maneb después de filtrada. Niveles de ruido por debajo de 60db. Flujo descarga de producto por compuerta: 154 Kg/min % Humedad producto después de filtrado: 20 | Temperatura ambiente: 38°C Humedad relativa: 84% Equipo bajo techo, pero expuesto a la humedad, polvo y salinidad. | Entra en análisis - Reductor con transmisión por poleas. - Eje de giro con aspa raspadora No entra en análisis - Motor del sistema de giro. - Tanque del filtro - Instrumentación asociada al sistema de giro del aspa raspadora. | Entradas - Energía mecánica (torque de reductor) - Producto con agua a 35°C - Energía eléctrica a 24V - Energía eléctrica a 440V - Grasa y aceite para lubricar Salidas - Energía mecánica (movimiento aspa) - Maneb a 40°C. - Agua a 30°C. - Energía eléctrica a 24V (Señales a PLC) - Calor (fricción entre aspa y producto) | SG01 | Desplazar la torta de producto a la compuerta del tanque a razón de 154kg/min. |
| | | | | | | SG02 | Hacer girar el aspa raspadora a 10RPM sin ruido y vibraciones. |
| | | | | | | SG03 | Mantener rigidez del mecanismo de transmisión con respecto al filtro. |
| | | | | | | SG04 | Contener aceite de reductor y grasa del eje de giro. |
| | | | | | | SG05 | Mantener el mecanismo de transmisión limpio, sin corrosión y oxidación. |
| | | | | | | SG06 | Girar el eje cuando reciba señal del PLC o manualmente. |

Tabla 21. Definición de funciones del agitador del tanque de precipitación. Fuente Dow Agrosciences

| ELEMENTO DE ESTUDIO | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO | CONDICIONES OPERACIONALES | CONDICIONES AMBIENTALES | FRONTERAS | INTERFASES | Cód Fun. | FUNCIONES |
|--------------------------------------|--|---|--|---|--|----------|---|
| Agitador del Tanque de Precipitación | MARCA AGITADOR: C.M.R. CONTRUZIONI METALURGICHE RIUNITE Tipo: 1825-30. - Reductor CMR de 25 HP. - Acople flexible. - RPM entrada reductor: 1740 - RPM salida: 57. - i= 30,52 - Eje de agitador de acero inoxidable 304. - 4 aspas en dos niveles. | Temperatura de operación: 40°C Presión operación: atmosférica. Kg producto agitar: 2000 de Torta de Maneb acuoso. Niveles de ruido por debajo de 60db. | Temperatura ambiente: 38°C Humedad relativa: 84% Equipo bajo techo, pero expuesto a la humedad, polvo y salinidad. | Entra en análisis - Reductor con acople flexible y semi-eje de agitador. - Eje de agitador con 2 niveles de 4 aspas cada uno. No entra en análisis - Motor del agitador. - Tanque del agitador. - Instrumentación asociada al sistema del agitador. | Entradas - Energía mecánica (torque de reductor). - Materia prima 4. - Producto proveniente del reactor. - Energía eléctrica a 24V (switches posición). - Grasa y aceite para lubricar.. Salidas - Energía mecánica (giro de aspa) - Maneb acuoso 40°C. - Energía eléctrica a 24V (Señales a PLC) - Calor (fricción entre aspa y producto) | AP01 | Homogenizar producto a 57 RPM y 25HP. |
| | | | | | | AP02 | Girar el eje de agitador sin ruido y vibraciones. |
| | | | | | | AP03 | Mantener rigidez el mecanismo de transmisión con respecto al tanque. |
| | | | | | | AP04 | Contener aceite de reductor y grasa del semi-eje. |
| | | | | | | AP05 | Mantener el mecanismo de transmisión limpio, sin corrosión y oxidación. |
| | | | | | | AP06 | Girar el eje de agitador cuando reciba señal del PLC o manualmente. |

Tabla 22. Descripción de los componentes del sistema de desplazamiento vertical según norma ISO 14224. Fuente: los autores

DESCRIPCION DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL SEGÚN NORMA ISO 14224

| | | | |
|--------------------|--|--|---|
| Planta | Sintesis de Mancozeb | | |
| Sección | Precipitación (20000) | | |
| Equipo | Sistema desplazamiento vertical aspa raspadora (SV-20502) | | |
| Sub unidad | Reductor (201) | Limitador de torque (202) | Tornillo de izaje (203) |
| Componentes | Rodamientos cónicos y radiales (2011) | Discos de fricción (2021) | Tornillo de potencia ACME (2031) |
| | Engranajes helicoidalesy sinfin-corona (2012) | Arandelas belleville (2022) | Rodamientos cónicos tornillo de potencia (2032) |
| | Eje (2013) | Cilindro portadiscos de fricción (2023) | Retenedores sistema soporte del tornillo (2033) |
| | Retenedores (2014) | Cilindro portarandelas belleville (2024) | Tornillos guías (2034) |
| | Manzana de acople estrella y disco de acople estrella (2016) | Arandela de ajuste (2025) | Buje de desplazamiento de bronce (2035) |
| | Cadena de acople estrella (2015) | | |
| | Aceite, drenaje, mirillas de nivel y tomamuestra (2017) | | |
| | Espaciador (2019) | | |
| | Válvula de venteo (2020) | | |

Tabla 23. Desarrollo FMEA para el sistema de desplazamiento vertical. Fuente: los autores

| FMEA DESARROLLADO PARA EL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|------------------------------------|--|-----------------|--|---|--------------|---|---|------------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado del acople | Transmitir torque | 20161 | Manzana y disco fracturados en los dientes o en cuerpo | Fatiga por desalineamiento o error de instalación | No | No hay transmisión, sistema vertical para para planta. | 43 | Preventivo | Rutina de inspección para detectar grietas, corrosión y oxidación en la manzana del acople. Inspeccionar cuñas, cuñeros, cambios de sección y dientes de la manzana. | PM-20002 | 3 meses |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado del acople | Transmitir torque | 20161 | Manzana y disco fracturados en los dientes o en cuerpo | Fatiga por desalineamiento o error de instalación (manzana instalada de manera incorrecta) | No | No hay transmisión, sistema vertical para para planta. | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para instalar manzana en eje del reductor con tolerancias adecuadas para evitar juego radial, axial y ajuste con elevada interferencia. | PROC 1 | NA |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado del acople | Transmitir torque | 20161 | Manzana y disco fracturados en los dientes o en cuerpo | Fatiga de material por aumento de carga | No | No hay transmisión, sistema vertical para para planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado del acople | Transmitir torque | 20162 | Manzana del acople con holguras | Desgaste adhesivo entre eje y manzana o tolerancias del agujero de la manzana por encima del requerido | No | Ruido, no hay transmisión y sistema vertical para planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para instalar manzana en eje del reductor con tolerancias adecuadas para evitar juego radial, axial y ajuste con elevada interferencia. | PROC 1 | NA |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado del acople | Transmitir torque | 20163 | Manzana del acople con ajuste interferencia | Deformación plástica del eje y la cuña. | No | Difícil desmonte de la manzana, deforma el eje. Planta para por baja mantenibilidad del reductor. | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para instalar manzana en eje del reductor con tolerancias adecuadas para evitar juego radial, axial y ajuste con elevada interferencia. | PROC 1 | NA |
| Reductor | 2015 | Cadena del acople | Acoplar reductor y sistema de embrague | 20151 | Eslabón partido | Fatiga de material por aumento de carga. | No | No hay transmisión, sistema vertical para para planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Reductor | 2015 | Cadena del acople | Acoplar reductor y sistema de embrague | 20152 | Cadena con ruido o impacto (perdida de paso) | Desgaste adhesivo, abrasivo y corrosivo en eslabones y bujes de la cadena. | No | Excesivo ruido. Puede fallar catastróficamente la cadena y para el proceso. | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa cadena y revisar estado de cadena | PM-20003 | 3 meses |
| Reductor | 2019 | Espaciador | Centrar disco dentado (corona) del acople | 20191 | buje de bronce partido u holgado | Desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga entre buje, eje y discos de embrague. | No | Ruido, no hay transmisión y sistema vertical para planta. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | Transmitir potencia a 1HP reducir velocidad de 852 a 5,6 rpm | 20121 | Reductor no gira | Fatiga y ruptura de rodamientos, ejes o engranajes debido a arranque sin aceite. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección del nivel de aceite del reductor antes de arrancar el equipo. | OP-20002 | Cada arranque |
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | Transmitir potencia a 1HP reducir velocidad de 852 a 5,6 rpm | 20122 | Reductor con ruido, vibración o no gira | Desgaste excesivo, fatiga o ruptura en eje, rodamientos y engranajes debido a cumplimiento de vida útil | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Cambiar reductor con base a reportes de condición del equipo e historial de fallas | PM-20019 | 9 años |
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | Operar silenciosamente hasta 0,4 in/s PK y 1,5G-s PK | 20122 | Reductor con Vibración anormal o ruido. | Fatiga, desgaste y fractura en eje, rodamientos y engranajes. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20001 | Mensual |
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | Operar silenciosamente hasta 0,4 in/s PK y 1,5G-s | 20122 | Reductor con Vibración anormal o ruido | Fatiga, desgaste y fractura en eje, rodamientos y engranajes. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | Contener aceite | 20123 | Reductor con fuga de aceite | Fractura en carcasa del reductor, desgaste de retenedores/ejes, desajuste en tapón de drenaje y mirilla de nivel. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---|---|--------------|--|---|------------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | Contener aceite | 20123 | Reductor con fuga de aceite | Fractura en carcaza del reductor, desgaste de retenedores/ejes, desajuste en tapón de drenaje y mirilla de nivel. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, ojos de buey, niveles, estado de retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpiar reductor. | PM-20004 | 3 meses |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20111 | Rodamiento picado, fracturado ,desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste o fractura térmica por deficiente lubricación o aceite contaminado (viscosidad, humedad, suciedad, partículas metálicas y contaminantes) | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20111 | Rodamiento picado, fracturado ,desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20004 | 6 meses |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20112 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Deformación plástica por mal montaje. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 2 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20113 | Rodamiento picado, fracturado ,desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga y mirillas. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20002 | Semanal |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20114 | Rodamiento picado, fracturado , corroído, desgastado, deformado con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura, deformación plástica y corrosión por fricción debido a desalineamiento o eje flectado | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20001 | Mensual |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20112 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Deformación plástica por fluctuación de carga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20115 | Rodamiento desgastado y deformado con alta vibración y ruido | Desgaste abrasivo o indentaciones por contaminantes | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, ojos de buey, niveles, estado de retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpiar reductor. | PM-20004 | 3 meses |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20116 | Rodamiento picado con ruido y vibración | Fatiga sub-superficial y desgaste por vida útil | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20004 | 6 meses |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20117 | Rodamiento corroído con ruido y vibraciones | Corrosión por humedad por inclusión de agua y agentes corrosivos. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20004 | 6 meses |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20117 | Rodamiento corroído con ruido y vibraciones | Corrosión por fricción debido ajustes holgados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 2 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20117 | Rodamiento picado con ruido y vibraciones | Fatiga superficial por aumento en ciclos de compresión y tensión. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20118 | Rodamiento con marcas de desgaste | Desgaste adhesivo por poca precarga en rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. | DIS 02 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---|--|--------------|---|---|------------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20111 | Rodamiento picado y desgastado con vibración y ruido | Desgaste abrasivo y fatiga por precarga en el montaje | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 2 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20111 | Rodamiento picado y desgastado con vibración y ruido | Fatiga superficial o subsuperficial y desgaste abrasivo y adhesivo por poca lubricación en los arranques | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS 03 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20119 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos almacenados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. | PROC 3 | NA |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20119 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos de equipos almacenados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Rutina de inspección a nivel de aceite y giro de 5 vueltas al reductor en su eje de salida. Verificar que no estén en sitios de alta vibración | PM-20005 | 3 meses |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20119 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos de equipos en campo | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Identificar con técnico CBM equipos que estén sometidos a alta vibración externa y aislarlos o rigidizarlos | CM-20002 | Mensual |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20124 | Dientes de engranajes rotos, picados y desgastados | Desgaste adhesivo o fatiga por bajo nivel de aceite | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20124 | Dientes de engranajes rotos, picados y desgastados | Desgaste abrasivo o fatiga causado por viscosidad de aceite inadecuada, aceite con agua y partículas contaminantes, suciedad, alta oxidación y partículas metálicas. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20004 | 6 meses |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20125 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Fatiga o deformación plástica por dureza o material de engranajes inadecuados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. En lo posible pedir soporte del Tech Center. | DIS 04 | NA |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20125 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Desgaste adhesivo y rotura por sobrecarga debido a desalineamiento o deflexión del eje. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. | PROC 4 | NA |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20125 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Fatiga (pitting destructivo) o deformación plástica por flexión debido a diseño de engranajes inapropiados, dureza superficial y materiales en dientes inadecuados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. En lo posible pedir soporte del Tech Center. | DIS 04 | NA |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20126 | Dientes de engranajes rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste adhesivo, fatiga, deformación plástica y rotura por excesiva carga. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 02 | NA |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20126 | Dientes de engranajes rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste abrasivo, adhesivo, fatiga, rotura de diente por flexión y deformación plástica por alta vibración en engranajes | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20001 | Mensual |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|--|--------------|--|---|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20127 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por almacenamiento inadecuado (alta humedad y condensación). | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos, verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, mirillas y tomamuestras. | PM-20006 | 3 meses |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20127 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado entrada de humedad y sucio en operación. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Torquear tapones de los ojos de buey, niveles de aceite, purga y venteos. Inspeccionar estado de retenedores. | PM-20007 | 3 meses |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | Reducir velocidad hasta 5,6 rpm a 1HP | 20127 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado entrada de humedad y sucio en operación. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antigaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS 03 | NA |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20131 | Eje doblado | Excesivo calor generado | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20131 | Eje doblado | Deformación del eje durante instalación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. | PROC 4 | NA |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20132 | Eje desgastado | Corrosión por contacto debido a holguras entre eje y rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. | PROC 4 | NA |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20132 | Eje desgastado | Corrosión por contacto debido a holguras entre eje y rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20001 | Mensual |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20133 | Eje roto | Fatiga causada por desalineamiento | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. | PROC 4 | NA |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20133 | Eje roto | Fatiga causada por sobrecarga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Reductor | 2013 | Eje | Rotación | 20133 | Eje roto | Fatiga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente ejes de los reductores, cuñeros, radios de curvaturas y cambios de secciones. | PROC 5 | NA |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20141 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a desalineamiento de ejes | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. | PROC 4 | NA |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20141 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a ejes doblados | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20142 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------|---------------------------------------|---|--------------|---|---|------------------------------------|---|--------------------|--------------------------|
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20143 | Retenedor fracturado | Excesiva presión interna o inadecuado acabado superficial del eje. | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20142 | Retenedor desgastado excesivamente | Alta temperatura y desgaste por falta e insuficiente lubricación | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20141 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a excentricidad entre eje y retenedores | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. | PROC 4 | NA |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20142 | Retenedores desgastados excesivamente | Desgaste normal por fricción | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) | DIS 05 | NA |
| Reductor | 2014 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20144 | Retenedores deformados y fracturados | Deformación por sobrecarga debida a movimiento radial del eje | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2017 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20171 | Aceite sucio | Contaminación por acumulación de lodos en un tiempo determinado | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Preventivo | Realizar lavado de reductor con el mismo aceite (flushing) cada vez que se realice el cambio de aceite | PM-20020 | Durante cambio de aceite |
| Reductor | 2017 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20172 | Aceite emulsionado | Contaminación del aceite con agua | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades fisico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20004 | 6 meses |
| Reductor | 2017 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20172 | Aceite emulsionado | Contaminación del aceite con agua | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS 03 | NA |
| Reductor | 2017 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20171 | Aceite sucio | Oxidación del aceite causado por alta temperatura (Alto nivel de aceite) | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de temperaturas en el reductor para verificar incremento de este parámetro. | CM-20003 | Mensual |
| Reductor | 2020 | Válvula de venteo | Prevenir sucios y contaminantes y evitar aumento de presión | 20201 | Válvula cerrada | Oxidada, deformada por golpes | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por retenedores, tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20001 | Semanal |
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | Limitar el exceso de torque transmitido | 20211 | Disco fracturado | Fatiga por exceso de carga de compresión | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Establecer un procedimiento con el torque adecuado para el ajuste de los discos y para el montaje de los discos, así como para el montaje /desmontaje del cilindro porta arandelas | PROC 6 | NA |
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | Limitar el exceso de torque transmitido | 20212 | Disco desgastado | Desgaste abrasivo y adhesivo normal debido a la fricción | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Preventivo | Cambiar discos de fricción | PM-20013 | 3 años |
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | Limitar el exceso de torque transmitido | 20212 | Disco desgastado | Desgaste abrasivo y adhesivo normal debido a la fricción | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de discos y torquar discos nuevamente | PM-20008 | 3 meses |
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | Limitar el exceso de torque transmitido | 20213 | Disco no transmite | Holguras entre discos por mal ajuste del embrague | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Establecer un procedimiento con el torque adecuado para el ajuste de los discos y para el montaje de los discos, así como para el montaje /desmontaje del cilindro porta arandelas | PROC 6 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|-------------------------------------|--|-----------------|--|--|--------------|---|---|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | Limitar el exceso de torque transmitido | 20214 | Disco sucio con grasa | Contaminación de disco con grasa de la cadena | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de discos y torquar discos nuevamente | PM-20008 | 3 meses |
| Limitador de Torque | 2022 | Arandelas belleville | Ajustar los discos de fricción | 20221 | Arandela fracturada | Fatiga por exceso de carga de compresión | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Establecer un procedimiento con el torque adecuado para el ajuste de los discos y para el montaje de los discos, así como para el montaje /desmontaje del cilindro porta arandelas | PROC 6 | NA |
| Limitador de Torque | 2022 | Arandelas belleville | Ajustar los discos de fricción | 20222 | Arandela suelta/ no ajusta | Holguras entre arandelas y tuerca de apriete por mal torqueo o mala instalación | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Establecer un procedimiento con el torque adecuado para el ajuste de los discos y para el montaje de los discos, así como para el montaje /desmontaje del cilindro porta arandelas | PROC 6 | NA |
| Limitador de Torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | Transmitir torque de reductor a tomillo potencia | 20231 | Cilindro con soldaduras entre el tomillo de potencia | Holguras entre cilindro y tomillo de potencia por mal maquinado | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento de montaje, que incluya las tolerancias entre el tomillo y cilindro | PROC 7 | NA |
| Limitador de Torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | Transmitir torque de reductor a tomillo potencia | 20232 | Cilindro desliza sobre tomillo | Holguras entre cilindro y tomillo de potencia por mal maquinado y cuña fracturada o no tiene | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento de montaje, que incluya las tolerancias entre el tomillo, cilindro y cuña. | PROC 7 | NA |
| Limitador de Torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | Transmitir torque de reductor a tomillo potencia | 20233 | Cilindro fracturado en cuñero | Fatiga por sobrecarga | Si | Eje de desplazamiento gira hasta que la fractura sea total | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de cilindro portadiscos e inspeccionar cuñas y cuñeros | PM-20009 | 3 meses |
| Limitador de Torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | Transmitir torque de reductor a tomillo potencia | 20234 | Cilindro deformado | Deformación plástica por excesivo ajuste o montaje inadecuado | Si | Eje de desplazamiento gira hasta que la deformación sea total | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de cilindro portadiscos e inspeccionar cuñas y cuñeros | PM-20009 | 3 meses |
| Limitador de Torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | Transmitir torque de reductor a tomillo potencia | 20235 | Cilindro con rosca deformada | Deformación plástica por excesivo ajuste o montaje inadecuado | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento de montaje del embrague, que enfatice en el ajuste de la tuerca de seguridad sin afectar la rosca. | PROC 8 | NA |
| Limitador de Torque | 2024 | Cilindro porta arandelas belleville | Mantener ajustada las arandelas belleville | 20241 | Fractura por sobrecarga | Rotura por excesivo torque | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Establecer un procedimiento con el torque adecuado para el ajuste de los discos y para el montaje de los discos, así como para el montaje /desmontaje del cilindro porta arandelas | PROC 6 | NA |
| Limitador de Torque | 2024 | Cilindro porta arandelas belleville | Mantener ajustada las arandelas belleville | 20241 | Fractura por sobrecarga | Rotura por montaje/desmontaje inadecuado | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento de montaje del embrague, que enfatice en el ajuste de la tuerca de seguridad sin afectar la rosca, como en el montaje del cilindro. | PROC 8 | NA |
| Limitador de Torque | 2024 | Cilindro porta arandelas belleville | Mantener ajustada las arandelas belleville | 20241 | Fractura por sobrecarga | Fatiga por variaciones en la fuerza de compresión | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de cilindro porta arandelas belleville | PM-20010 | 3 meses |
| Limitador de Torque | 2025 | Arandela de ajuste | Ajustar arandelas belleville | 20251 | Arandela fracturada | Rotura por sobrecarga al torquar | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento de montaje del embrague, que enfatice en el ajuste de la arandela (torque) sin afectar la rosca y sin fracturar la arandela. | PROC 8 | NA |
| Limitador de Torque | 2025 | Arandela de ajuste | Ajustar arandelas belleville | 20252 | Arandela no ajusta | Deformación plástica de los hilos de la rosca por excesivo ajuste | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento de montaje del embrague, que enfatice en el ajuste de la arandela (torque) sin afectar la rosca y sin fracturar la arandela. | PROC 8 | NA |
| Limitador de Torque | 2025 | Arandela de ajuste | Ajustar arandelas belleville | 20253 | Arandela suelta | Desajuste de la arandela progresivamente por mal torqueo o vida útil. | No | Eje de desplazamiento vertical no gira. Equipo parado. | 43 | Preventivo | Torquar periódicamente la arandela e inspeccionar estado e hilos de la rosca | PM-20011 | 3 meses |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|--|--|--------------|---|---|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20311 | Dientes del tornillo rotos, picados y desgastados | Desgaste adhesivo o fatiga por falta de lubricación | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los dientes del tornillo de potencia | PM-20001 | Mensual |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20311 | Dientes del tornillo rotos, picados y desgastados | Desgaste abrasivo o fatiga causado por grasa contaminada con partículas contaminantes o metálicas. | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Entrenamiento al personal técnico en el manejo adecuado de las grasas y uso de herramientas de lubricación para no contaminar la grasa. | PROC 9 | NA |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20312 | Dientes de tornillo rotos, picados o deformados. | Fatiga o deformación plástica por dureza o material de dientes inadecuados | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener especificado a través del fabricante el material y las especificaciones de diseño del tornillo de potencia Acme | DIS 06 | NA |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20312 | Dientes de tornillo rotos, picados o deformados. | Desgaste adhesivo y rotura por sobrecarga debido a desalineamiento o deflexión del tornillo. | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para el montaje adecuado del tornillo de potencia, verificando antes del montaje el estado de dientes, excentricidad y tolerancias de montaje con rodamientos cónicos y tuerca de bronce. | PROC 10 | NA |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20312 | Dientes de tornillo rotos, picados o deformados. | Fatiga (pitting destructivo) o deformación plástica por flexión debido a diseño de dientes de tornillo inapropiados, dureza superficial y materiales en dientes inadecuados. | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener especificado a través del fabricante el material y las especificaciones de diseño del tornillo de potencia Acme | DIS 06 | NA |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20313 | Dientes de tornillos rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste adhesivo, fatiga, deformación plástica y rotura por excesiva carga. | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20314 | Tornillo partido transversalmente | Rotura por carga excesiva | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20315 | Tornillo no gira | Oxidación, envejecimiento, solidificación de grasa en buje de bronce y buje de bronce | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los dientes del tornillo de potencia | PM-20001 | Mensual |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|--|--|-----------------|---|--|--------------|---|---|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Tomillo de izaje | 2031 | Tomillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20316 | Tomillo gira lentamente y con ruido | Desgaste adhesivo, abrasivo o fatiga de tornillos causado por soldaduras con soportes, rodamientos, cuña o buje de bronce. | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado del tornillo de potencia, rodamientos, retenedores y buje de bronce. Cambiar tornillo y tuerca si es necesario | PM-20014 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2031 | Tomillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20316 | Tomillo gira lentamente y con ruido | Desgaste adhesivo, abrasivo, fatiga y deformación plástica debido a su vida útil | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado del tornillo de potencia, rodamientos, retenedores y buje de bronce. Cambiar tornillo y tuerca si es necesario | PM-20014 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2031 | Tomillo de potencia Acme | Desplazar verticalmente el buje de desplazamiento de bronce a 0,054 m/min. | 20316 | Tomillo gira lentamente y con ruido | Desgaste adhesivo, abrasivo, fatiga y deformación plástica debido a su vida útil | No | Daño catastrófico del tornillo y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar ruido en tornillo de potencia, soldaduras en cilindro de soporte, partículas de acero y bronce alrededor del cilindro soporte. | OP-20002 | Semanal |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20321 | Rodamiento picado, fracturado ,desgastado con ruido. | Fatiga, desgaste o fractura térmica por deficiente lubricación o grasa contaminada (humedad, suciedad, partículas metálicas y contaminantes) | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Preventivo | Cambiar rodamientos del tornillo de potencia | PM-20015 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20321 | Rodamiento picado, fracturado , desgastado con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los rodamientos de manera manual para garantizar que todos los elementos de los rodamientos estén lubricados | PM-20016 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20322 | Rodamiento deformado, con ruido. | Deformación plástica por mal montaje. | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 2 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20321 | Rodamiento picado, fracturado ,desgastado, con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear procedimiento para lubricar con grasa los rodamientos, teniendo en cuenta la cantidad adecuada. | PROC 11 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20323 | Rodamiento picado, fracturado , corrido, desgastado, deformado con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura, deformación plástica y corrosión por fricción por desalineamiento o eje flectado | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20324 | Rodamiento deformado, con ruido. | Deformación plástica por fluctuación de carga | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | Permitir la rotación del tornillo y soportar carga axial | 20325 | Rodamiento desgastado y deformado con alto y ruido | Desgaste abrasivo o indentaciones por contaminantes | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Preventivo | Cambiar rodamientos, lubricar con grasa, cambiar retenedores y ajustar pemos y tapa del cilindro soporte | PM-20017 | 3 años |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|---|---|-----------------|--|--|--------------|--|---|------------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20326 | Rodamiento picado con ruido. | Fatiga sub-superficial y desgaste por vida útil | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Preventivo | Cambiar rodamientos, lubricar con grasa, cambiar retenedores y ajustar pernos y tapa del cilindro soporte | PM-20017 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20327 | Rodamiento corroído con ruido. | Corrosión por humedad por inclusión de agua y agentes corrosivos. | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Preventivo | Cambiar rodamientos, lubricar con grasa, cambiar retenedores y ajustar pernos y tapa del cilindro soporte | PM-20017 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20327 | Rodamiento corroído con ruido. | Corrosión por fricción debido ajustes holgados. | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 2 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20327 | Rodamiento picado con ruido. | Fatiga superficial por aumento en ciclos de compresión y tensión. | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20328 | Rodamiento con marcas de desgaste | Desgaste adhesivo por poca precarga en rodamientos | Si | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. | DIS 02 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20329 | Rodamiento picado y desgastado con ruido | Desgaste abrasivo y fatiga por precarga en el montaje | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 2 | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20329 | Rodamiento picado y desgastado con ruido | Fatiga superficial o subsuperficial y desgaste abrasivo y adhesivo por poca lubricación en los arranques | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Tomillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tomillo de potencia | Permitir la rotación del tomillo y soportar carga axial | 20324 | Rodamiento deformado con ruido. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos almacenados | No | Daño catastrófico del rodamiento y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. | PROC 3 | NA |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20331 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a desalineamiento de tomillo | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20331 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a ejes doblados | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20332 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Preventivo | Cambiar retenedores | PM-20018 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20333 | Retenedor fracturado | Excesiva presión interna o inadecuado acabado superficial del eje. | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20331 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a excentricidad entre eje y retenedores | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | 1 vez |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20332 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) | DIS 05 | NA |
| Tomillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20334 | Retenedores deformados y fracturados | Deformación por sobrecarga debida movimiento radial del eje | Si | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de consecuencias (según matriz de criticidad) | Descripción Tarea de Mantenimiento | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|---|-----------------|---|--|--------------|--|---|------------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20351 | Dientes del buje rotos, picados y desgastados | Desgaste adhesivo o fatiga por falta de lubricación | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los dientes del buje de bronce | PM-20001 | Mensual |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20351 | Dientes del buje rotos, picados y desgastados | Desgaste abrasivo o fatiga causado por grasa contaminada con partículas contaminantes o metálicas. | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Entrenamiento al personal técnico en el manejo adecuado de las grasas y uso de herramientas de lubricación para no contaminar la grasa. | PROC 9 | NA |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20351 | Dientes del buje rotos, picados y desgastados | Fatiga o deformación plástica por dureza o material de dientes inadecuados | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener especificado a través del fabricante el material y las especificaciones de diseño del buje de desplazamiento | DIS 07 | NA |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20351 | Dientes del buje rotos, picados y desgastados | Desgaste adhesivo y rotura por sobrecarga debido a desalineamiento del buje. | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para el montaje adecuado del tomillo de potencia, verificando antes del montaje el estado de dientes, excentricidad y tolerancias de montaje con rodamientos cónicos y tuerca de bronce. | PROC 10 | NA |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20352 | Dientes de buje rotos, picados o deformados. | Fatiga (pitting destructivo) o deformación plástica por flexión debido a diseño de dientes de tomillo o buje inapropiados, dureza superficial y materiales en dientes inadecuados. | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener especificado a través del fabricante el material y las especificaciones de diseño del buje de desplazamiento | DIS 07 | NA |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20353 | Dientes de buje rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste adhesivo, fatiga, deformación plástica y rotura por excesiva carga. | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20354 | Buje fracturado | Rotura por carga excesiva | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS 01 | NA |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20355 | Buje no gira | Oxidación, envejecimiento, solidificación de grasa entre tomillo y buje de bronce | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los dientes del buje de bronce | PM-20001 | Mensual |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20356 | Tomillo gira lentamente y con ruido | Desgaste adhesivo, abrasivo o fatiga de dientes del buje causado por soldaduras con soportes, rodamientos o tomillo de potencia. | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado del tomillo de potencia, rodamientos, retenedores y buje de bronce. Cambiar tomillo y tuerca si es necesario | PM-20014 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20356 | Tomillo gira lentamente y con ruido | Desgaste adhesivo, abrasivo, fatiga y deformación plástica debido a su vida útil | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado del tomillo de potencia, rodamientos, retenedores y buje de bronce. Cambiar tomillo y tuerca si es necesario | PM-20014 | 3 años |
| Tomillo de izaje | 2035 | Buje de desplazamiento de bronce | Desplazar verticalmente el aspa raspadora a 0,054 m/min | 20356 | Tomillo gira lentamente y con ruido | Desgaste adhesivo, abrasivo, fatiga y deformación plástica debido a su vida útil | No | Daño catastrófico del buje y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar ruido en tomillo de potencia, soldaduras en cilindro de soporte, partículas de acero y bronce alrededor del cilindro soporte. | OP-20002 | Semanal |
| Tomillo de izaje | 2034 | Tomillos guías | Guiar el eje cuando se desplaza verticalmente | 20341 | Tomillo partido | Rotura por sobrecarga (impacto) | No | Soporte cilíndrico del buje de bronce se gira. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Tomillo de izaje | 2034 | Tomillos guías | Guiar el eje cuando se desplaza verticalmente | 20342 | Tomillo guía suelto/no existe | Soltura del tomillo por mal ajuste o montaje | No | Soporte cilíndrico del buje de bronce se gira. | 43 | Preventivo | Torquear tomillos guías | PM-20012 | 3 meses |
| Tomillo de izaje | 2034 | Tomillos guías | Guiar el eje cuando se desplaza verticalmente | 20342 | Tomillo guía suelto/no existe | Soltura del tomillo por mal ajuste o montaje | No | Soporte cilíndrico del buje de bronce se gira. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para verificar estado del tomillo guía. | OP-20003 | Semanal |

Tabla 24. Descripción componentes sistema de giro del aspa raspadora según norma ISO 14224. Fuente: los autores

| DESCRIPCION DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE GIRO DEL ASPA RASPADORA SEGÚN NORMA ISO 14224 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|---------------------|---|-------------------------|---|---------------------------------|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Planta | Sintesis de Mancozeb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sección | Precipitación (20000) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Equipo | Sistema de giro del aspa raspadora (A-20501) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sub unidad | Reductor (204) | Eje de giro (205) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Componentes | <table border="1"> <tr><td>Transmisión por correas/poleas (2041)</td></tr> <tr><td>Ejes (2042)</td></tr> <tr><td>Engranés (2043)</td></tr> <tr><td>Rodamientos radiales (2044)</td></tr> <tr><td>Retenedores (2045)</td></tr> <tr><td>Sistema de lubricación-aceite (2046)</td></tr> <tr><td>Valvula de venteo (2047)</td></tr> <tr><td>Camisa de eje de giro (2048)</td></tr> </table> | Transmisión por correas/poleas (2041) | Ejes (2042) | Engranés (2043) | Rodamientos radiales (2044) | Retenedores (2045) | Sistema de lubricación-aceite (2046) | Valvula de venteo (2047) | Camisa de eje de giro (2048) | <table border="1"> <tr><td>Eje estriado (2051)</td></tr> <tr><td>Anillo de lubricación eje estriado (2052)</td></tr> <tr><td>Soporte del cubo (2053)</td></tr> <tr><td>Rodamientos cónicos de eje de giro (2054)</td></tr> <tr><td>Tuerca de ajuste-bloqueo (2055)</td></tr> <tr><td>Retenedor (2056)</td></tr> <tr><td>Espaciador (2057)</td></tr> <tr><td>Cojinete de latón (2058)</td></tr> <tr><td>Semieje aspa raspadora (2059)</td></tr> <tr><td>Aspa raspadora (2050)</td></tr> <tr><td>Soporte estructura (205A)</td></tr> </table> | Eje estriado (2051) | Anillo de lubricación eje estriado (2052) | Soporte del cubo (2053) | Rodamientos cónicos de eje de giro (2054) | Tuerca de ajuste-bloqueo (2055) | Retenedor (2056) | Espaciador (2057) | Cojinete de latón (2058) | Semieje aspa raspadora (2059) | Aspa raspadora (2050) | Soporte estructura (205A) |
| Transmisión por correas/poleas (2041) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ejes (2042) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Engranés (2043) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rodamientos radiales (2044) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Retenedores (2045) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sistema de lubricación-aceite (2046) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valvula de venteo (2047) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Camisa de eje de giro (2048) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eje estriado (2051) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anillo de lubricación eje estriado (2052) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Soporte del cubo (2053) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rodamientos cónicos de eje de giro (2054) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tuerca de ajuste-bloqueo (2055) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Retenedor (2056) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espaciador (2057) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cojinete de latón (2058) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Semieje aspa raspadora (2059) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aspa raspadora (2050) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Soporte estructura (205A) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 25. Desarrollo FMEA para el sistema de giro del aspa rapadora. Fuente: los autores

| FMEA DESARROLLADO PARA EL SISTEMA DE GIRO DE LA ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------------------------|---|-----------------|---|---|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | Transmitir potencia y reducir velocidad de 1750 a 1230RPM | 20411 | Correas rotas | Desgaste general | No | No hay transmisión de torque al reductor. Equipo parado. | 43 | Preventivo | Inspeccionar condición de correas y poleas usando medidores de desgaste en poleas. | PM-20504 | 1 año |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | Transmitir potencia y reducir velocidad de 1750 a 1230RPM | 20411 | Correas rotas | Desalineamiento | No | No hay transmisión de torque al reductor. Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar procedimiento para alinear entre poleas, teniendo en cuenta la tensión adecuada. El motor debe tener pernos para alinear. | PROC 12 | NA |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | Transmitir potencia y reducir velocidad de 1750 a 1230RPM | 20411 | Correas rotas | Sobrecarga | No | No hay transmisión de torque al reductor. Equipo parado. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | Transmitir potencia y reducir velocidad de 1750 a 1230RPM | 20412 | Poleas sueltas | Holguras en manguitos o poleas por mal montaje | No | Ruido y Equipo parado. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento adecuado para montar poleas con manguitos. | PROC 13 | NA |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | Transmitir potencia y reducir velocidad de 1750 a 1230RPM | 20413 | Polea fracturada | Fatiga | No | Ruido y Equipo parado. | 43 | Preventivo | Inspeccionar condición de correas y poleas usando medidores de desgaste en poleas. | PM-20504 | 1 año |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20431 | Reductor no gira | Fatiga y ruptura de rodamientos, ejes o engranajes debido a arranque sin aceite. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección del nivel de aceite del reductor antes de arrancar el equipo. | OP-20501 | Cada arranque |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20432 | Reductor con ruido, vibración o no gira | Desgaste excesivo, fatiga o ruptura en eje, rodamientos y engranajes debido a cumplimiento de vida útil | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Cambiar reductor con base a reportes de condición del equipo e historial de fallas | PM-20514 | 9 años |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | Operar silenciosamente hasta 0,4 in/s FK y 1,5G-s FK | 20433 | Reductor con vibración anormal o ruido. | Fatiga, desgaste y fractura en eje, rodamientos y engranajes. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20501 | Mensual |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | Operar silenciosamente hasta 0,4 in/s FK y 1,5G-s FK | 20433 | Reductor con vibración anormal o ruido | Fatiga, desgaste y fractura en eje, rodamientos y engranajes. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | Contener aceite | 20434 | Reductor con fuga de aceite | Fractura en carcasa del reductor, desgaste de retenedores/ejes, desajuste en tapón de drenaje y mirilla de nivel. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|---|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | Contener aceite | 20434 | Reductor con fuga de aceite | Fractura en carcasa del reductor, desgaste de retenedores/ejes, desajuste en tapón de drenaje y mirilla de nivel. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, ojos de buey, niveles, estado de retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpiar reductor. | PM-20502 | 3 meses |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20441 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste o fractura térmica por deficiente lubricación o aceite contaminado (viscosidad, humedad, suciedad, partículas metálicas y contaminantes) | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20441 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20503 | 6 meses |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20441 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Deformación plástica por mal montaje. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 14 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20441 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20442 | Rodamiento picado, fracturado, corroido, desgastado, deformado con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura, deformación plástica y corrosión por fricción debido a desalineamiento o eje flectado | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20501 | Mensual |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20443 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Deformación plástica por fluctuación de carga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20444 | Rodamiento desgastado y deformado con alta vibración y ruido | Desgaste abrasivo o indentaciones por contaminantes | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, ojos de buey, niveles, estado de retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpiar reductor. | PM-20502 | 3 meses |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20445 | Rodamiento picado con ruido y vibración | Fatiga sub-superficial y desgaste por vida útil | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20503 | 6 meses |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20446 | Rodamiento corroido con ruido y vibraciones | Corrosión por humedad por inclusión de agua y agentes corrosivos. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20503 | 6 meses |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------|--|--|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20446 | Rodamiento corroído con ruido y vibraciones | Corrosión por fricción debido ajustes holgados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 14 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20446 | Rodamiento picado con ruido y vibraciones | Fatiga superficial por aumento en ciclos de compresión y tensión. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20447 | Rodamiento con marcas de desgaste | Desgaste adhesivo por poca precarga en rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. | DIS-08 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20448 | Rodamiento picado y desgastado con vibración y ruido | Desgaste abrasivo y fatiga por precarga en el montaje | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 14 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20448 | Rodamiento picado y desgastado con vibración y ruido | Fatiga superficial o subsuperficial y desgaste abrasivo y adhesivo por poca lubricación en los arranques | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS-13 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20443 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos almacenados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. | PROC 15 | NA |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20443 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos de equipos almacenados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Rutina de inspección a nivel de aceite y giro de 5 vueltas al reductor en su eje de salida. Verificar que no estén en sitios de alta vibración | PM-20503 | 3 meses |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20443 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos de equipos en campo | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Identificar con técnico CBM equipos que estén sometidos a alta vibración externa y aislarlos o rigidizarlos | CM-20505 | Mensual |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20435 | Dientes de engranajes rotos, picados y desgastados | Desgaste adhesivo o fatiga por bajo nivel de aceite | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20435 | Dientes de engranajes rotos, picados y desgastados | Desgaste abrasivo o fatiga causado por viscosidad de aceite inadecuada, aceite con agua y partículas contaminantes, suciedad, alta oxidación y partículas metálicas. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20503 | 6 meses |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------|---|---|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20436 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Fatiga o deformación plástica por dureza o material de engranajes inadecuados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte del Tech Center. | DIS-12 | NA |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20436 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Desgaste adhesivo y rotura por sobrecarga debido a desalineamiento o deflexión del eje. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. | PROC 16 | NA |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20436 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Fatiga (pitting destructivo) o deformación plástica por flexión debido a diseño de engranajes inapropiados, dureza superficial y materiales en dientes inadecuados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte del Tech Center. | DIS-12 | NA |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20437 | Dientes de engranajes rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste adhesivo, fatiga, deformación plástica y rotura por excesiva carga. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20437 | Dientes de engranajes rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste abrasivo, adhesivo, fatiga, rotura de diente por flexión y deformación plástica por alta vibración en engranajes | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20501 | Mensual |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20438 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por almacenamiento inadecuado (alta humedad y condensación). | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos, verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, mirillas y tomamuestras. | PM-20503 | 3 meses |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20439 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por entrada de humedad y sucio en operación. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Torquear tapones de los ojos de buye, niveles de aceite, purga y venteos. Inspeccionar estado de retenedores. | PM-20505 | 1 año |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 15HP y reducir velocidad de 1230 a 10 rpm | 20439 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por entrada de humedad y sucio en operación. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS-13 | NA |
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20421 | Eje doblado | Excesivo calor generado | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|-----------------|--|--|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20421 | Eje doblado | Deformación del eje durante instalación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. | PROC 16 | NA |
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20422 | Eje desgastado | Corrosión por contacto debido a holguras entre eje y rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. | PROC 16 | NA |
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20422 | Eje desgastado | Corrosión por contacto debido a holguras entre eje y rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20501 | Mensual |
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20433 | Eje roto | Fatiga causada por desalineamiento | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. | PROC 16 | NA |
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20433 | Eje roto | Fatiga causada por sobrecarga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Reductor | 2042 | Ejes | Rotación | 20433 | Eje roto | Fatiga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente ejes de los reductores, cuñeros, radios de curvaturas y cambios de secciones. | PROC 17 | NA |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20451 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a desalineamiento de ejes | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. | PROC 16 | NA |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20451 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a ejes doblados | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20451 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20452 | Retenedor fracturado | Excesiva presión interna o inadecuado acabado superficial del eje. | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20451 | Retenedor desgastado excesivamente | Alta temperatura y desgaste por falta e insuficiente lubricación | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------|--|---|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|--------------------------|
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20451 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a excentricidad entre eje y retenedores | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. | PROC 16 | NA |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20451 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) | DIS-11 | NA |
| Reductor | 2045 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20453 | Retenedores deformados y fracturados | Deformación por sobrecarga debida a movimiento radial del eje | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2046 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20461 | Aceite sucio | Contaminación por acumulación de lodos en un tiempo determinado | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Preventivo | Realizar lavado de reductor con el mismo aceite (flushing) cada vez que se realice el cambio de aceite | PM-20515 | Durante cambio de aceite |
| Reductor | 2046 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20462 | Aceite emulsionado | Contaminación del aceite con agua | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20503 | 6 meses |
| Reductor | 2046 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20462 | Aceite emulsionado | Contaminación del aceite con agua | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS-13 | NA |
| Reductor | 2046 | Aceite | Lubricar partes rotativas | 20461 | Aceite sucio | Oxidación del aceite causado por alta temperatura (Alto nivel de aceite) | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de temperaturas en el reductor para verificar incremento de este parámetro. | CM-20502 | Mensual |
| Reductor | 2047 | Válvula de venteo | Prevenir sucios y contaminantes y evitar aumento de presión | 20471 | Válvula cerrada | Oxidada, deformada por golpes | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20502 | Semanal |
| Reductor | 2048 | Camisa eje de giro | Transmitir potencia de reductor a eje estriado | 20481 | Camisa con solturas | Desgaste adhesivo por juego axial progresivo entre camisa y eje estriado | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2048 | Camisa eje de giro | Transmitir potencia de reductor a eje estriado | 20482 | Camisa picada, fracturada o deformada | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Preventivo | Lubricar eje estriado periódicamente e inspeccionar estado de graseras y tubing | PM-20500 | Mensual |
| Reductor | 2048 | Camisa eje de giro | Transmitir potencia de reductor a eje estriado | 20482 | Camisa picada, fracturada o deformada | Desgaste abrasivo o fatiga causado por grasa con agua y partículas contaminantes, suciedad, alta oxidación y partículas metálicas | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para manipular adecuadamente la grasa y las herramientas de lubricación. | PROC 20 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|---|---|--------------|--|---|-----------------------|---|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2048 | Camisa eje de giro | Transmitir potencia de reductor a eje estriado | 20483 | Camisa con solturas | Holguras entre camisa y eje estriado, debido a tolerancias inadecuadas de montaje | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para montaje y desmontaje de camisa del eje estriado, con las tolerancias adecuadas. | PROC 21 | NA |
| Reductor | 2048 | Camisa eje de giro | Transmitir potencia de reductor a eje estriado | 20484 | Cuña desgastada, facturada | Fatiga, desgaste abrasivo, deformación o rotura por trabajo normal | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | Girar el aspa raspadora a 10 RPM | 20511 | Dientes de eje rotos, picados y desgastados | Desgaste abrasivo o fatiga causado por grasa con agua y partículas contaminantes, suciedad, alta oxidación y partículas metálicas | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para manipular adecuadamente la grasa y las herramientas de lubricación. | PROC 20 | NA |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | Girar el aspa raspadora a 10 RPM | 20512 | Eje con ruido o no gira | Fatiga, desgaste adhesivo y abrasivo por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar ruidos en el eje, vibración y eje lubricado con grasa. | OP-20503 | Semanal |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | Girar el aspa raspadora a 10 RPM | 20513 | Dientes de eje rotos, picados o deformados. | Desgaste adhesivo y rotura por sobrecarga debido a doblez del eje. | No | Ruido, no hay transmisión al eje estriado y parada del equipo. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | Girar el aspa raspadora a 10 RPM | 20513 | Dientes de eje rotos, picados o deformados. | Desgaste adhesivo, fatiga, deformación plástica y rotura por excesiva carga. | No | Daño catastrófico del eje y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | Girar el aspa raspadora a 10 RPM | 20514 | Dientes de eje rotos, picados y desgastados | Fatiga, desgaste adhesivo y abrasivo por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del eje y parada de planta | 43 | Preventivo | Lubricar eje estriado periódicamente e inspeccionar estado de graseras y tubing | PM-20500 | Mensual |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | Girar el aspa raspadora a 10 RPM | 20515 | Dientes de eje rotos, picados ,desgastados y deformados | Fatiga, desgaste adhesivo, desgaste abrasivo, deformación plástica o rotura por múltiples causas. | No | Daño catastrófico del eje y parada de planta | 43 | Preventivo | Retirar grasa e inspeccionar detalladamente estado de dientes del eje, verificar si muestran desgaste, pitting, deformaciones, corrosión y oxidación. | PM-20509 | 3 años |
| Eje de giro | 2052 | Anillo de lubricación | Lubricar eje estriado | 20521 | Graseras obstruidas/tubing partido | Desgaste y fatiga interna por vida útil o ingreso de contaminantes | Si | Eje no se lubrica con grasa y falla catastróficamente | 43 | Preventivo | Lubricar eje estriado periódicamente e inspeccionar estado de graseras y tubing | PM-20500 | Mensual |
| Eje de giro | 2053 | Soporte del cubo | Acoplar el tornillo ACME con eje de estriado | 20531 | Pernos de ajuste partidos | Deformación plástica pr excesivo ajuste | No | Eje estriado no gira, para planta | 43 | Eliminación de fallas | Procedimiento de montaje y desmontaje de soporte de cubo, que incluya el torque de los pernos. | PROC 19 | NA |
| Eje de giro | 2053 | Soporte del cubo | Acoplar el tornillo ACME con eje de estriado | 20531 | Pernos de ajuste partidos | Rotura de pernos por material inadecuado, no cumple con el diseño | No | Eje estriado no gira, para planta | 43 | Cambio de diseño | Durante el montaje instalar los pernos adecuados para las condiciones de carga del eje de giro. Debe ser especificado por fabricante | DIS-10 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|---|---|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Eje de giro | 2053 | Soporte del cubo | Acoplar el tornillo ACME con eje de estriado | 20532 | Pernos de ajuste sueltos | Desajuste por deficiente torqueo en el montaje | No | Eje estriado no gira, para planta | 43 | Eliminación de fallas | Procedimiento de montaje y desmontaje de soporte de cubo, que incluya el torqueo de los pernos. | PROC 19 | NA |
| Eje de giro | 2053 | Soporte del cubo | Acoplar el tornillo ACME con eje de estriado | 20533 | Pista interna picada, fracturada. | Desgaste abrasivo, adhesivo, fatiga o deformación plástica por deficiente lubricación | No | Eje estriado no gira, para planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los rodamientos que se deslizan sobre el soporte del cubo | PM-20510 | 3 años |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20541 | Rodamiento picado, fracturado ,desgastado, con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los rodamientos que se deslizan sobre el soporte del cubo | PM-20510 | 3 años |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20542 | Rodamiento deformado, con ruido. | Deformación plástica por mal montaje. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 22 | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20543 | Rodamiento picado, fracturado, corroído, desgastado, deformado con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura, deformación plástica y corrosión por fricción debido a eje doblado. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20542 | Rodamiento deformado, con ruido. | Deformación plástica por fluctuación de carga | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20544 | Rodamiento desgastado y deformado con ruido. | Desgaste abrasivo o indentaciones por contaminantes | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para manipular adecuadamente la grasa y las herramientas de lubricación. | PROC 20 | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20545 | Rodamiento picado con ruido. | Fatiga sub-superficial y desgaste por vida útil | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20546 | Rodamiento corroído con ruido. | Corrosión por fricción debido ajustes holgados. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 22 | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20545 | Rodamiento picado con ruido. | Fatiga superficial por aumento en ciclos de compresión y tensión. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del eje estriado y soportar carga | 20547 | Rodamiento picado y desgastado con ruido | Desgaste abrasivo y fatiga por precarga en el montaje | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje estriado no gira, para planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC 22 | NA |
| Eje de giro | 2055 | Tuerca de bloqueo | Sostener eje estriado y ajustar rodamientos cónicos. | 20551 | Arandela fracturada | Rotura por sobrecarga al torquear | No | Eje de giro se descuelga y cae, parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para montaje/desmontaje del eje estriado, soporte del cubo, rodamientos cónicos y tuerca de bloqueo. La cual debe ser torqueada según las recomendaciones del fabricante. | PROC 23 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------|--|---|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Eje de giro | 2055 | Tuerca de bloqueo | Sostener eje estriado y ajustar rodamientos cónicos. | 20551 | Arandela no ajusta | Deformación plástica de los hilos de la rosca por excesivo ajuste | No | Eje de giro se descuelga y cae, parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para montaje/desmontaje del eje estriado, soporte del cubo, rodamientos cónicos y tuerca de bloqueo. La cual debe ser torqueada según las recomendaciones del fabricante. | PROC 23 | NA |
| Eje de giro | 2055 | Tuerca de bloqueo | Sostener eje estriado y ajustar rodamientos cónicos. | 20552 | Arandela suelta | Desajuste de la tuerca progresivamente por mal torqueo o vida útil. | No | Eje de giro se descuelga y cae, parada de planta | 43 | Preventivo | Torquear periódicamente la tuerca de bloqueo. | PM-20511 | 3 años |
| Eje de giro | 2056 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20561 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a eje de giro doblado | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2056 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20562 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2056 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20563 | Retenedor fracturado | Excesiva presión interna o inadecuado acabado superficial del eje. | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2056 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20562 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) | DIS-11 | NA |
| Eje de giro | 2056 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20564 | Retenedores deformados y fracturados | Deformación por sobrecarga debido a movimiento radial del eje. | Si | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2057 | Espaciador | Ajustar rodamiento cónico inferior | 20571 | Buje partido u holgado | Desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga entre buje y eje de giro. | Si | Ruido, rodamiento con juego axial y parada de planta. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2058 | Cojinete de latón | Soporte del eje de giro, no permitir excentricidades del eje. | 20581 | Cojinete fracturado o con soldaduras | Desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga entre eje y cojinete por deficiente lubricación. | No | Eje excentrico, ruido y daño catastrófico de cojinete o eje estriado. | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa el cojinete periódicamente. | PM-20501 | Mensual |
| Eje de giro | 2058 | Cojinete de latón | Soporte del eje de giro, no permitir excentricidades del eje. | 20581 | Cojinete fracturado o con soldaduras | Desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga entre eje y cojinete por fricción normal. | No | Eje excentrico, ruido y daño catastrófico de cojinete o eje estriado. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de las Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|---|---|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | Acoplar eje estriado y aspa raspadora, permitir giro | 20591 | Semieje excéntrico, pernos sueltos en flanges | Ajuste inadecuado en montaje | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento para torquar adecuadamente los pernos en las bridas del semieje | PROC 18 | NA |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | Acoplar eje estriado y aspa raspadora, permitir giro | 20591 | Semieje excéntrico, pernos sueltos en flanges | Desajuste de pernos por tiempo de funcionamiento | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Preventivo | Hacer una inspección visual del semieje, flanges, pernos y tuercas. | PM-20506 | 1 año |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | Acoplar eje estriado y aspa raspadora, permitir giro | 20591 | Semieje excéntrico, pernos sueltos en flanges | Desajuste de pernos por tiempo de funcionamiento | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Preventivo | Torquar pernos de los flanges del semieje | PM-20512 | 3 años |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | Acoplar eje estriado y aspa raspadora, permitir giro | 20592 | Semieje fracturado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras en flanges, orificios de brida, transiciones en el diámetro, imperfecciones en superficie) | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Predictivo | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldadura de flanges, aspa raspadora y cuchillas. | CM-20504 | 3 años |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | Acoplar eje estriado y aspa raspadora, permitir giro | 20592 | Semieje fracturado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras en flanges, orificios de brida, transiciones en el diámetro, imperfecciones en superficie) | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de semieje para verificar grietas, corrosión e imperfecciones superficiales. | PM-20507 | 1 año |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | Acoplar eje estriado y aspa raspadora, permitir giro | 20593 | Pernos de bridas fracturado | Fatiga por sobrecarga | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | Raspar y desplazar producto | 20501 | Aspa fracturada | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras en flanges, aspás y cuchillas, orificios de brida, transiciones en el aspa e imperfecciones en superficie) | No | Ruido, alto tiempo de filtrado, parada de planta | 43 | Predictivo | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldadura de flanges, aspa raspadora y cuchillas. | CM-20504 | 3 años |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | Raspar y desplazar producto | 20501 | Aspa fracturada | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras en flanges, aspás y cuchillas, orificios de brida, transiciones en el aspa e imperfecciones en superficie) | No | Ruido, alto tiempo de filtrado, parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de aspa raspadora para verificar grietas, desgaste y rotura en cuchillas, corrosión e imperfecciones superficiales en semieje. | PM-20508 | 1 año |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | Raspar y desplazar producto a 154Kg/min | 20502 | Aspa no raspa, ni desplaza el producto | Desgaste abrasivo/ adhesivo o rotura en las cuchillas del aspa por vida útil | No | Alto tiempo de filtrado, parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | Raspar y desplazar producto 154Kg/min sin ruido y vibración. | 20503 | Aspa con ruido y vibración | Desgaste general, deformación del aspa (doblez), desajuste en brida, acumulación de producto por varias causas | No | Ruido y vibración, alto tiempo de filtrado y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | | OP-20504 | Semanal |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | Raspar y desplazar producto sin ruido y vibración. | 20504 | Aspa raspadora doblada | Deformación plástica por sobrecarga | No | Ruido y vibración, alto tiempo de filtrado y parada de planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-09 | NA |
| Eje de giro | 205A | Estructura soporte | Rigidizar eje de giro | 205A1 | Pernos sueltos o fracturados | Oxidación, corrosión, deformación por vida útil o mal montaje | No | Ruido y vibración | 43 | Preventivo | Torquar pernos de la estructura soporte del eje de giro y cambiarlos si es necesario. | PM-20513 | 3 años |

Tabla 26. Descripción de los componentes del agitador del tanque de precipitación según norma ISO 14224. Fuente: los autores

DESCRIPCION DE COMPONENTES AGITADOR TANQUE DE PRECIPITACION SEGÚN NORMA ISO 14224

| | | |
|--------------------|--|--|
| Planta | Síntesis de Mancozeb | |
| Sección | Precipitación (20000) | |
| Equipo | Agitador Tanque de Precipitación (A-20301) | |
| Sub unidad | Reductor (206) | Eje de Agitador (207) |
| Componentes | Conjunto de acople manzana-elástomero (2061) Conjunto de engranajes (2062) Ejes de reductor (2063) Rodamientos radiales y cónicos (2064) Retenedores de aceite (2065) Sistema de lubricación-aceite (2066) Valvula de venteo, tomamuestra y nivel (2067) | Rodamientos cónicos (2071) Retenedores de grasa (2072) Semieje de acople (2073) Eje de agitador (2074) Cubo porta-aspas (2075) Aspas (2076) Estructura soporte eje agitador (2077) |

Tabla 27. Desarrollo de FMEA para el agitador del tanque de precipitación. Fuente: Los autores

| FMEA DESARROLLADO PARA EL AGITADOR DE PRECIPITACION | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------------------------------|---|-----------------|--|--|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | Acoplar reductor y semi-eje de acople sin ruido y vibración. | 20611 | Acople con ruido y vibración anormal | Desgaste general de elástomero. | No | Ruido y vibración. Agitador para. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador, teniendo en cuenta: ruido inusual, olor inusual y fragmentos de elástomero y tornillos partidos. | OP-20600 | Semanal |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | Acoplar reductor y semi-eje de acople sin ruido y vibración. | 20611 | Acople con ruido y vibración anormal | Desgaste adhesivo del elástomero por desalineamiento y error de instalación. | No | Ruido y vibración. Agitador para. | 43 | Eliminación de fallas | Procedimiento de instalación de acople, con tolerancias adecuadas para evitar juego axial y radial. El procedimiento también debe incluir la alineación dentro de tolerancias radiales y axiales. | PROC-24 | NA |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | Acoplar reductor y semi-eje de acople sin ruido y vibración. | 20612 | Manzana y elástomero fracturado | Fatiga causada por desalineamiento o error de instalación | No | Agitador para planta. | 43 | Eliminación de fallas | Procedimiento de instalación de acople, con tolerancias adecuadas para evitar juego axial y radial. El procedimiento también debe incluir la alineación dentro de tolerancias radiales y axiales. | PROC-24 | NA |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | Acoplar reductor y semi-eje de acople sin ruido y vibración. | 20612 | Manzana y elástomero fracturado | Desgaste general de elástomero. | No | Agitador para planta. | 43 | Preventivo | Inspección visual general del estado del elástomero, ajuste pemos de acople, cambios si es necesario. Inspeccione grietas, corrosión y oxidación en manzana de acople. También inspeccione ajuste en eje, cuña y cuñero. | PM-20601 | 1 año |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | Acoplar reductor y semi-eje de acople sin ruido y vibración. | 20613 | Elástomero fracturado | Desgaste/fatiga por desalineamiento o desgaste general. | No | Agitador para planta. | 43 | Predictivo | Análisis de vibraciones en baja frecuencia para detectar falla en elástomero. | CM-20601 | Mensual |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | Acoplar reductor y semi-eje de acople sin ruido y vibración. | 20613 | Elástomero fracturado | Fatiga de elástomero por sobrecarga | No | Agitador para planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20621 | Dientes de engranajes rotos, picados y desgastados | Desgaste abrasivo o fatiga causado por viscosidad de aceite inadecuada, aceite con agua y partículas contaminantes, suciedad, alta oxidación y partículas metálicas. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20602 | 6 meses |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20621 | Dientes de engranajes rotos, picados y desgastados | Desgaste adhesivo o fatiga por bajo nivel de aceite | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20622 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Fatiga o deformación plástica por dureza o material de engranajes inadecuados | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte del Tech Center. | DIS-15 | NA |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20622 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Desgaste adhesivo y rotura por sobrecarga debido a desalineamiento o deflexión del eje. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. | PROC-25 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------|---|---|--------------|--|---|--------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20622 | Dientes de engranajes rotos, picados o deformados. | Fatiga (pitting destructivo) o deformación plástica por flexión debido a diseño de engranajes inapropiados, dureza superficial y materiales en dientes inadecuados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte de Tech Center. | DIS-15 | NA |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20623 | Dientes de engranajes rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste adhesivo, fatiga, deformación plástica y rotura por excesiva carga. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20623 | Dientes de engranajes rotos, picados, desgastados y deformados. | Desgaste abrasivo, adhesivo, fatiga, rotura de diente por flexión y deformación plástica por alta vibración en engranajes | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20603 | Mensual |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20624 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por almacenamiento inadecuado (alta humedad y condensación). | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos, verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, mirillas y tomamuestras. Verificar nivel de aceite y girar eje de salida del reductor 5 vueltas. Reductor no debe estar en sitios de alta vibración. | PM-20602 | 3 meses |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20624 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por entrada de humedad y sucio en operación. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, niveles, retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpie reductor. Torque tapones de purga, venteo y nivel de aceite. | PM-20603 | 6 meses |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20624 | Dientes corroidos | Corrosión en engranajes causado por entrada de humedad y sucio en operación. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS-16 | NA |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20625 | Reductor no gira | Fatiga y ruptura de rodamientos, ejes o engranajes debido a arranque sin aceite. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección del nivel de aceite del reductor antes de arrancar el equipo. | OP-20602 | Cada arranque |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | Transmitir potencia a 25HP y reducir velocidad de 1740 a 57 rpm | 20626 | Reductor con ruido, vibración o no gira | Desgaste excesivo, fatiga o ruptura en eje, rodamientos y engranajes debido a cumplimiento de vida útil | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Cambiar reductor con base a reportes de condición del equipo e historial de fallas. | PM-20604 | 9 años |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | Operar silenciosamente hasta 0,4 in/s PK y 1,5G-s PK | 20627 | Reductor con vibración anormal o ruido. | Fatiga, desgaste y fractura en eje, rodamientos y engranajes. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20603 | Mensual |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | Operar silenciosamente hasta 0,4 in/s PK y 1,5G-s PK | 20627 | Reductor con vibración anormal o ruido | Fatiga, desgaste y fractura en eje, rodamientos y engranajes. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|---|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | Contener aceite | 20628 | Reductor con fuga de aceite | Fractura en carcasa del reductor, desgaste de retenedores/ejes, desajuste en tapón de drenaje y mirilla de nivel. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | Contener aceite | 20628 | Reductor con fuga de aceite | Fractura en carcasa del reductor, desgaste de retenedores/ejes, desajuste en tapón de drenaje y mirilla de nivel. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, niveles, retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpie reductor. Torque tapones de purga, venteo y nivel de aceite. | PM-20603 | 6 meses |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20641 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste o fractura térmica por deficiente lubricación o aceite contaminado (viscosidad, humedad, suciedad, partículas metálicas y contaminantes) | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20641 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20602 | 6 meses |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20642 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Deformación plástica por mal montaje. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales y cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC-26 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20641 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20643 | Rodamiento picado, fracturado, corroido, desgastado, deformado con ruido y vibración | Fatiga, desgaste, fractura, deformación plástica y corrosión por fricción debido a desalineamiento o eje flectado | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20603 | Mensual |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20642 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Deformación plástica por fluctuación de carga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20644 | Rodamiento desgastado y deformado con alta vibración y ruido | Desgaste abrasivo o indentaciones por contaminantes | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Preventivo | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, niveles, retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpie reductor. Torque tapones de purga, venteo y nivel de aceite. | PM-20603 | 6 meses |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20645 | Rodamiento picado con ruido y vibración | Fatiga sub-superficial y desgaste por vida útil | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20602 | 6 meses |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20646 | Rodamiento corroido con ruido y vibraciones | Corrosión por humedad por inclusión de agua y agentes corrosivos. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta. | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20602 | 6 meses |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|---|--------------|---|--|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20646 | Rodamiento corroído con ruido y vibraciones | Corrosión por fricción debido ajustes holgados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales y cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC-26 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20645 | Rodamiento picado con ruido y vibraciones | Fatiga superficial por aumento en ciclos de compresión y tensión. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20647 | Rodamiento con marcas de desgaste | Desgaste adhesivo por poca precarga en rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. | DIS-17 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20648 | Rodamiento picado y desgastado con vibración y ruido | Desgaste abrasivo y fatiga por precarga en el montaje | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales y cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC-26 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20648 | Rodamiento picado y desgastado con vibración y ruido | Fatiga superficial o subsuperficial y desgaste abrasivo y adhesivo por poca lubricación en los arranques. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS-16 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20642 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos almacenados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. | PROC-27 | NA |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20642 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos de equipos almacenados. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Preventivo | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos, verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, minillas y tomamuestras. Verificar nivel de aceite y girar eje de salida del reductor 5 vueltas. Reductor no debe estar en sitios de alta vibración. | PM-20602 | 3 meses |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | Permitir la rotación y soportar carga | 20642 | Rodamiento deformado, con ruido y vibración. | Corrosión por fricción debido a falso brinelling en rodamientos de equipos en campo. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Identificar con técnico CBM equipos que estén sometidos a alta vibración externa y aislarlos o rigidizarlos | CM-20604 | Mensual |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20631 | Eje doblado | Excesivo calor generado | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20631 | Eje doblado | Deformación del eje durante instalación | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. | PROC-25 | NA |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20632 | Eje desgastado | Corrosión por contacto debido a holguras entre eje y rodamientos | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. | PROC-25 | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|-----------------|--|---|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20632 | Eje desgastado | Corrosión por contacto debido a holguras entre eje y rodamientos. | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. | CM-20603 | Mensual |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20633 | Eje roto | Fatiga causada por desalineamiento | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. | PROC-25 | NA |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20633 | Eje roto | Fatiga causada por sobrecarga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | Rotación | 20633 | Eje roto | Fatiga | No | Daño catastrófico del reductor y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente ejes de los reductores, cuñeros, radios de curvaturas y cambios de secciones. | PROC-28 | NA |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20651 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a desalineamiento de ejes | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. | PROC-25 | NA |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20651 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a ejes doblados | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20652 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20653 | Retenedor fracturado | Excesiva presión interna o inadecuado acabado superficial del eje. | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20652 | Retenedor desgastado excesivamente. | Alta temperatura y desgaste por falta e insuficiente lubricación | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20651 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a excentricidad entre eje y retenedores | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. | PROC-25 | NA |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20652 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) | DIS-18 | NA |
| Reductor | 2065 | Retenedores de aceite | Contener aceite | 20654 | Retenedores deformados y fracturados. | Deformación por sobrecarga debidaa movimiento radial del eje | No | Fuga de aceite, daño catastrófico y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|-------------------------------|---|-----------------|---|--|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|--------------------------|
| Reductor | 2066 | Sistema de lubricación-Aceite | Lubricar partes rotativas | 20661 | Aceite sucio | Contaminación por acumulación de lodos en un tiempo determinado. | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Preventivo | Realizar lavado de reductor con el mismo aceite (flushing) cada vez que se realice el cambio de aceite | PM-20605 | Durante cambio de aceite |
| Reductor | 2066 | Sistema de lubricación-Aceite | Lubricar partes rotativas | 20662 | Aceite emulsionado | Contaminación del aceite con agua. | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Predictivo | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. | CM-20602 | 6 meses |
| Reductor | 2066 | Sistema de lubricación-Aceite | Lubricar partes rotativas | 20662 | Aceite emulsionado | Contaminación del aceite con agua | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Cambio de diseño | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. | DIS-16 | NA |
| Reductor | 2066 | Sistema de lubricación-Aceite | Lubricar partes rotativas | 20661 | Aceite sucio | Oxidación del aceite causado por alta temperatura (Alto nivel de aceite) | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de temperaturas en el reductor para verificar incremento de este parámetro. | CM-20605 | Mensual |
| Reductor | 2067 | Válvula de venteo | Prevenir sucios y contaminantes y evitar aumento de presión | 20671 | Válvula cerrada (obstruida) | Oxidada, deformada por golpes | No | Falla de componentes, falla catastrófica y parada del equipo. | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por taponos de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. | OP-20601 | Semanal |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20711 | Rodamiento picado, fracturado, desgastado, con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura por deficiente lubricación o sin lubricación | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Preventivo | Lubricar con grasa los rodamientos cónicos del semieje del acople. | PM-20606 | Mensual |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20712 | Rodamiento deformado, con ruido. | Deformación plástica por mal montaje. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en semi-eje de agitador, con las tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC-29 | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20713 | Rodamiento picado, fracturado, corroido, desgastado, deformado con ruido. | Fatiga, desgaste, fractura, deformación plástica y corrosión por fricción debido a semi-eje o eje de agitador doblado. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20712 | Rodamiento deformado, con ruido. | Deformación plástica por fluctuación de carga | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20714 | Rodamiento desgastado y deformado con ruido. | Desgaste abrasivo o indentaciones por contaminantes | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Eliminación de fallas | Tener un procedimiento para manipular adecuadamente la grasa y las herramientas de lubricación. | PROC-30 | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20715 | Rodamiento picado con ruido y vibración. | Fatiga sub-superficial y desgaste por vida útil. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas por rodamientos y desalineamiento | CM-20606 | Mensual |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|--|---|--------------|---|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20716 | Rodamiento corroído con ruido. | Corrosión por fricción debido ajustes holgados. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en semi-eje de agitador, con las tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC-29 | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20716 | Rodamiento picado con ruido. | Fatiga superficial por aumento en ciclos de compresión y tensión. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20715 | Rodamiento picado y desgastado con ruido | Desgaste abrasivo y fatiga por precarga en el montaje | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Eliminación de fallas | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en semi-eje de agitador, con las tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. | PROC-29 | NA |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20715 | Rodamiento con ruido y vibración. | Desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga por desalineamiento | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas por rodamientos y desalineamiento | CM-20606 | Mensual |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | Permitir la rotación del semi-eje y soportar carga | 20715 | Rodamiento con ruido y vibración. | Desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga por desalineamiento en semi-eje de agitador. | No | Falla catastrófica de rodamiento, eje agitador no gira, parada de planta. | 43 | Eliminación de fallas | Procedimiento detallado para el montaje y desmontaje del semi-eje de acople con el respectivo eje. Incluye montaje de rodamientos, aspas y alineación entre acoples. | PROC-36 | NA |
| Eje de agitador | 2072 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20721 | Retenedores deformados excesivamente. | Deformación por sobrecarga debido a semi-eje doblado | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de agitador | 2072 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20722 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de agitador | 2072 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20723 | Retenedor fracturado | Excesiva presión interna o inadecuado acabado superficial del semi-eje. | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de agitador | 2072 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20722 | Retenedores desgastados excesivamente. | Desgaste normal por fricción | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) | DIS-18 | NA |
| Eje de agitador | 2072 | Retenedores de grasa | Contener grasa | 20724 | Retenedores deformados y fracturados | Deformación por sobrecarga debido a movimiento radial del semi-eje. | Si | Fuga de grasa, daño catastrófico de rodamientos y parada de planta | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|--|--|--------------|---|---|-----------------------|---|--------------------|---------------------|
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20731 | Semieje excéntrico, pernos sueltos en bridas | Ajuste inadecuado en montaje | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento para torquar adecuadamente los pernos en las bridas del semi-eje y eje. | PROC-31 | NA |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20731 | Semieje excéntrico, pernos sueltos en bridas | Desajuste de pernos por tiempo de funcionamiento | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Preventivo | Hacer una inspección visual del estado de bridas, verificando soldaduras o pernos y tuercas faltantes, grietas e imperfecciones superficiales en las bridas. | PM-20607 | 1 año |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20731 | Semieje excéntrico, pernos sueltos en bridas | Desajuste de pernos por tiempo de funcionamiento | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Preventivo | Torquar pernos de las bridas del semieje y eje de agitador. Cambiarlos si es necesario. | PM-20608 | 3 años |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20732 | Semieje fracturado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras en bridas, orificios de brida, transición del semi-eje a brida e imperfecciones en brida) | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Predictivo | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldaduras de bridas del semieje y eje del agitador, cubo porta-aspas. | CM-20607 | 3 años |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20732 | Semieje fracturado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos en semi-eje (transiciones en el diámetro de semi-eje e imperfecciones en superficie de semi-eje) | Si | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Operar hasta falla | NA | NA | NA |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20732 | Semieje fracturado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos en semi-eje (transiciones en el diámetro de semi-eje e imperfecciones en superficie de semi-eje) | Si | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de semi-eje. Este procedimiento incluye montaje/desmontaje de los rodamientos con sus tolerancias, retenedores, montaje de acople y alineación y torque de pernos de las bridas. | PROC-32 | NA |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | Acoplar reductor con eje de agitador, transmitir giro | 20733 | Pernos de bridas fracturado | Fatiga por sobrecarga | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación | 20741 | Eje excéntrico por pernos sueltos en bridas | Ajuste inadecuado en montaje | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento para torquar adecuadamente los pernos en las bridas del semi-eje y eje. | PROC-31 | NA |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación | 20742 | Eje excéntrico por doblez en eje. | Deformación durante montaje | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de eje. Verificar tolerancias radiales del eje y comparar con las del fabricante después de hacer run-out antes y después de montaje. | PROC-33 | NA |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación | 20743 | Eje doblado | Sobrecarga | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación y operar sin ruido y vibración inusual. | 20744 | Eje con vibración por desbalance | Acumulación de producto en eje y aspas. | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Predictivo | Rutina de toma de vibraciones en baja frecuencia, como temperatura para detectar vibración causada por desbalance en eje, excentricidad, paso de aspas o desalineamiento. | CM-20608 | Mensual |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------|------------------------------------|--|--------------|--|---|-----------------------|--|--------------------|---------------------|
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación y operar sin ruido y vibración inusual. | 20745 | Eje con vibración por desbalance | Acumulación de producto en eje y aspas. | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Busqueda de fallas | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores a el eje, bridas y aspas del agitador. | OP-20603 | Semanal |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación | 20746 | Eje fracturado | Fatiga por eje doblado, desbalance, concentración de esfuerzos, en cuñas, cuñeros, transición eje-brida (soldadura), imperfecciones en superficie y stress corrosion cracking. | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Predictivo | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldaduras de bridas del semieje y eje del agitador, cubo porta-aspas. | CM-20607 | 3 años |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | Transmitir la rotación | 20746 | Eje fracturado | Fatiga por eje doblado, desbalance, concentración de esfuerzos, en cuñas, cuñeros, transición eje-brida (soldadura), imperfecciones en superficie y stress corrosion cracking. | No | Ruido, vibración y parada para reparar. | 43 | Preventivo | Inspeccionar en eje grietas, imperfecciones, corrosión y oxidación superficial. Verifique run-out del eje. | PM-20609 | 3 años |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | Acoplar aspas y eje de agitador. | 20751 | Cubo suelto (juego radial y axial) | Desgaste adhesivo entre eje y cubo por mal montaje | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de cubo, con las tolerancias de ajuste y torqueo de prisioneros adecuadas, para evitar el juego radial y axial. | PROC-34 | NA |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | Acoplar aspas y eje de agitador. | 20751 | Cubo suelto (juego radial y axial) | Desgaste normal y soldura de prisioneros. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Inspección visual externa de eje y cubo para detectar deslizamiento del cubo. | PM-20610 | 1 año |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | Acoplar aspas y eje de agitador. | 20751 | Cubo suelto (juego radial y axial) | Desgaste normal y soldura de prisioneros. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores para detectar desplazamiento del cubo. | OP-20604 | Semanal |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | Acoplar aspas y eje de agitador. | 20751 | Cubo suelto (juego radial y axial) | Desgaste normal y soldura de prisioneros. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Torqueo de los prisioneros del cubo e inspección de cuña y cuñero. | PM-20611 | 3 años |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | Acoplar aspas y eje de agitador. | 20752 | Cubo fracturado o agrietado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras, cuñas, cuñeros, orificios de pernos, imperfecciones en superficies, corrosión, oxidación) | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Predictivo | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldaduras de bridas del semieje y eje del agitador, cubo porta-aspas. | CM-20607 | 3 años |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | Acoplar aspas y eje de agitador. | 20752 | Cubo fracturado o agrietado | Fatiga debido a puntos de concentración de esfuerzos (soldaduras, cuñas, cuñeros, orificios de pernos, imperfecciones en superficies, corrosión, oxidación) | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Inspeccionar en eje cubo grietas, imperfecciones, corrosión y oxidación superficial. | PM-20614 | 3 años |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20761 | Aspas sueltas | Desajuste en pernos por mal torqueo | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Eliminación de fallas | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de las aspas, con el torqueo adecuado. | PROC-35 | NA |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20761 | Aspas sueltas | Desajuste en pernos por vida útil. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Inspección visual externa para verificar estado de aspas, solduras en pernos. Verificar pernos faltantes. | PM-20613 | 1 año |

| Descripción Sub unidad | Ref. componente | Descripción del componente | Función componente | Código de falla | Modo de falla | Mecanismos de fallas y posibles causas de fallas | Falla oculta | Descripción de efectos | Categoría de Consecuencia (según matriz criticidad) | Descripción Tarea | Descripción de la tarea | Código de la tarea | Frecuencia de tarea |
|------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|--|--------------|--|---|--------------------|--|--------------------|---------------------|
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20761 | Aspas sueltas | Desajuste en pernos por vida útil. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Torquear pernos de aspas e inspeccionar grietas, corrosión, deformación de las aspas e imperfecciones en la superficie. Cambiar si es necesario. | PM-20612 | 3 años |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20761 | Aspas sueltas | Desajuste en pernos por vida útil. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores para detectar estado de alabes. | OP-20605 | Semanal |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20762 | Aspa fracturada | Fatiga debido a concentración de esfuerzos o flexión del aspa. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Torquear pernos de aspas e inspeccionar grietas, corrosión, deformación de las aspas e imperfecciones en la superficie. Cambiar si es necesario. | PM-20612 | 3 años |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20762 | Aspa fracturada | Fatiga debido a concentración de esfuerzos o flexión del aspa. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Preventivo | Inspección visual externa para verificar estado de aspas, soldaduras en pernos. Verificar pernos faltantes. | PM-20613 | 1 año |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20762 | Aspa fracturada | Fatiga debido a concentración de esfuerzos o flexión del aspa. | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Busqueda de fallas | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores para detectar estado de alabes. | OP-20605 | Semanal |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | Mezclar producto | 20763 | Aspa fracturada | Sobrecarga | Si | Problemas de agitación, parada de planta | 43 | Cambio de diseño | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. | DIS-14 | NA |
| Eje de agitador | 2077 | Estructura soporte | Soportar eje de agitador | 20771 | Pernos sueltos o fracturados | Oxidación, corrosión, deformación por vida útil o mal montaje | No | Ruido y vibración | 43 | Preventivo | Torquear pernos de la estructura soporte del eje de giro y cambiarlos si es necesario. | PM-20612 | 3 años |
| Eje de agitador | 2077 | Estructura soporte | Soportar eje de agitador | 20771 | Pernos sueltos o fracturados | Oxidación, corrosión, deformación por vida útil o mal montaje | No | Ruido y vibración | 43 | Busqueda de fallas | Rutina de inspección por parte de operador para verificar estado de soporte y de pernos de sujeción (oxidación, corrosión, fractura). | OP-20606 | Semanal |

8. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS

En este capítulo se presenta de manera tabulada las tareas de mantenimiento que resultaron de la aplicación del método de análisis de modos de fallas y sus efectos a los equipos críticos del área de precipitación de la empresa Dow Agrosiences en la ciudad de Barranquilla.

Entre las tareas presentadas se encuentran tareas preventivas, predictivas, operativas, recomendaciones de cambio de diseño y procedimiento para desarrollar algunas tareas de mantenimiento. Estas tareas en su conjunto forman la estrategia de mantenimiento que se propuso como objetivo alcanzar para los equipos críticos del área de precipitación.

En la tabla 28 se presenta la estrategia de mantenimiento propuesta para el sistema de desplazamiento vertical.

En la tabla 29 se presenta la estrategia de mantenimiento propuesta para el sistema de giro del aspa raspadora.

En la tabla 30 se presenta la estrategia de mantenimiento propuesta para el agitador del tanque de precipitación.

Para un mejor entendimiento de los equipos críticos, en los anexos se muestra un plano de detalle del agitador del tanque de precipitación (Anexo A), un plano del limitador de torque (Anexo B) y un plano del tornillo de potencia (Anexo C), los dos últimos, componentes del sistema de desplazamiento vertical.

Tabla 28. Estrategia de mantenimiento para el sistema de desplazamiento vertical. Fuente: los autores

| TAREAS PREVENTIVAS SISTEMA DESPLAZAMIENTO VERTICAL | | | | | | |
|--|-----------------|--|------------|--------------------|-------------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. TAREA | FRECUENCIA (MESES) | RECURSOS | LISTA DE TAREAS |
| Tornillo de izaje | 2031 | Tornillo potencia ACME | PM-20001 | 1 | 2 Mecánicos | Lubricar con grasa los dientes del tornillo de potencia. Lubricar con grasa los dientes del buje de bronce. |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado de acople | PM-20001 | 3 | 2 Mecánicos | Rutina de inspección para detectar grietas, corrosión y oxidación en la manzana del acople. Inspeccionar cuñas, cuñeros, cambios de sección y dientes de la manzana. |
| Reductor | 2015 | Cadena del acople | PM-20003 | 3 | 2 Mecánicos | Lubricar con grasa cadena. Revisar estado de cadena. |
| Reductor | 2012/2011 | Unidad de reductor/Rodamientos cónicos y radiales | PM-20004 | 3 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, ojos de buey, niveles, estado de retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpiar reductor. |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | PM-20005 | 3 | 2 Mecánicos | Rutina de inspección a nivel de aceite Girar 5 vueltas el reductor en su eje de salida. Verificar que no estén en sitios de alta vibración |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | PM-20006 | 3 | 2 Mecánicos | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos. Verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, mirillas y tomamuestras. |
| Reductor | 2012 | Conjunto de engranajes | PM-20007 | 3 | 2 Mecánicos | Torquear tapones de los ojos de buey, niveles de aceite, purga y venteos. Inspeccionar estado de retenedores. |
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | PM-20008 | 3 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de discos. Torquear discos nuevamente |
| Limitador de Torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | PM-20009 | 3 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de cilindro portadiscos. Inspeccionar cuñas y cuñeros |
| Limitador de Torque | 2024 | Cilindro porta arandelas belleville | PM-20010 | 3 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de cilindro porta arandelas belleville |
| Limitador de Torque | 2025 | Arandela de ajuste | PM-20011 | 3 | 2 Mecánicos | Torquear periódicamente la arandela Inspeccionar estado e hilos de la rosca |
| Tornillo de izaje | 2034 | Tornillos guías | PM-20012 | 3 | 2 Mecánicos | Torquear tornillos guías |
| Limitador de Torque | 2021 | Discos de fricción | PM-20013 | 36 | 2 Mecánicos | Cambiar discos de fricción |
| Tornillo de izaje | 2031/2035 | Tornillo potencia ACME/Buje desplazamiento de bronce | PM-20014 | 36 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado del tornillo de potencia, rodamientos, retenedores y buje de bronce. Cambiar tornillo y tuerca si es necesario |
| Tornillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | PM-20015 | 36 | 2 Mecánicos | Cambiar rodamientos del tornillo de potencia |
| Tornillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | PM-20016 | 36 | 2 Mecánicos | Lubricar con grasa los rodamientos de manera manual para garantizar que todos los elementos de los rodamientos estén lubricados |
| Tornillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | PM-20017 | 36 | 2 Mecánicos | Cambiar rodamientos Lubricar con grasa Cambiar retenedores y ajustar pernos y tapa del cilindro soporte |
| Tornillo de izaje | 2033 | Retenedores de grasa | PM-20018 | 36 | 2 Mecánicos | Cambiar retenedores |
| Reductor | 2012 | Unidad de reductor | PM-20019 | 108 | 2 Mecánicos | Cambiar reductor con base a reportes de condición del equipo e historial de fallas |
| Reductor | 2017 | Aceite | PM-20020 | Cada cambio aceite | 2 Mecánicos | Realizar lavado de reductor con el mismo aceite (flushing) cada vez que se realice el cambio de aceite |

| TAREAS PREDICTIVAS SISTEMA DESPLAZAMIENTO VERTICAL | | | | | | |
|--|---------------------|--|------------|--------------------|----------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. TAREA | FRECUENCIA (MESES) | RECURSOS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2012/2011/2012/2017 | Unidad de reductor/rodamientos cónicos y radiales/eje | CM-20001 | 1 | 1 CBM | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia para detectar fallas en rodamientos y engranajes. Rutina de toma de temperatura para detectar incremento de temperatura por fallas en rodamientos, engranajes y aceite. |
| Reductor | 2011 | Rodamientos cónicos y radiales | CM-20002 | 1 | 1 CBM | Identificar con técnico CBM equipos que estén sometidos a alta vibración externa y aislarlos o rigidizarlos |
| Reductor | 2017 | Aceite | CM-20003 | 1 | 1 CBM | Rutina de toma de temperaturas en el reductor para verificar incremento de este parámetro. |
| Reductor | 2011/2012/2017 | Rodamientos cónicos y radiales/Unidad de reductor/Aceite | CM-20004 | 6 | 1 CBM | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. |

| TAREAS OPERATIVAS SISTEMA DESPLAZAMIENTO VERTICAL | | | | | | |
|---|---------------------|---|------------|-------------------|------------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. TAREA | FRECUENCIA (DIAS) | RECURSOS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2011/2012/2014/2021 | Rodamientos cónicos y radiales/Unidad de reductor/retenedores aceite/válvula venteo | OP-20001 | 7 | 1 Operador | Rutina de inspección por parte del operador para: Detectar fugas de aceite por retenedores. Tapones de purga, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. |
| Tornillo de izaje | 2031/2035 | Tornillo de potencia ACME/Aceite buje desplazamiento de bronce | OP-20002 | 7 | 1 Operador | Rutina de inspección por parte del operador para: Detectar ruido en tornillo de potencia. Solturas en cilindro de soporte. Verificar partículas de acero y bronce alrededor del cilindro soporte. |
| Tornillo de izaje | 2034 | Tornillos guías | OP-20003 | 7 | 1 Operador | Rutina de inspección por parte del operador para verificar estado del tornillo guía. |

| CAMBIOS DE DISEÑO SISTEMA DESPLAZAMIENTO VERTICAL | | | | |
|--|------------------------|-----------------------------|-----------------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. DIS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor/ Tornillo de izaje | 201/203 | Reductor/ Tornillo de izaje | DIS-01 | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. |
| Reductor/ Tornillo de izaje | 201/203 | Reductor/ Tornillo de izaje | DIS-02 | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. |
| Reductor | 201 | Reductor | DIS-03 | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. |
| Reductor | 201 | Reductor | DIS-04 | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte del Tech Center. |
| Reductor/ Tornillo de izaje | 201/203 | Reductor/ Tornillo de izaje | DIS-05 | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) |
| Tornillo de izaje | 203 | Tornillo de izaje | DIS-06 | Tener especificado a través del fabricante el material y las especificaciones de diseño del tornillo de potencia Acme |
| Tornillo de izaje | 203 | Tornillo de izaje | DIS-07 | Tener especificado a través del fabricante el material y las especificaciones de diseño del buje de desplazamiento |

| PROCEDIMIENTOS A DESARROLLAR EN SISTEMA DESPLAZAMIENTO VERTICAL | | | | |
|---|-----------------|--|-----------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. PROC | ALCANCE |
| Reductor | 2016 | Manzana y disco dentado del acople | PROC 1 | Tener procedimiento para instalar manzana en eje del reductor con tolerancias adecuadas para evitar juego radial, axial y ajuste con elevada interferencia. |
| Reductor/Tornillo de izaje | 2011/2032 | Rodamientos cónicos y radiales / Rodamientos cónicos tornillo potencia | PROC 2 | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos y radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. |
| Reductor/Tornillo de izaje | 2011/2032 | Rodamientos cónicos y radiale s/ Rodamientos cónicos tornillo potencia | PROC 3 | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. |
| Reductor | 2012/2013/2014 | Unidad de reductor/eje/retenedores | PROC 4 | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y acoples. |
| Reductor | 2013 | Eje | PROC 5 | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente ejes de los reductores, cuñeros, radios de curvaturas y cambios de secciones. |
| Limitador de torque | 2021/2022/2024 | Discos de fricción / Arandelas belleville/cilindro portarandelas belleville | PROC 6 | Establecer un procedimiento con el torque adecuado para el ajuste de los discos y para el montaje de los discos, así como para el montaje /desmontaje del cilindro porta arandelas |
| Limitador de torque | 2023 | Cilindro portadiscos de fricción | PROC 7 | Tener un procedimiento de montaje, que incluya las tolerancias entre el tornillo y cilindro |
| Limitador de torque | 2023/2024/2025 | Cilindro portadiscos de fricción / cilindro portarandelas belleville/ arandela de ajuste | PROC 8 | Tener un procedimiento de montaje del embrague, que enfatice en el ajuste de la tuerca de seguridad sin afectar la rosca, como en el montaje del cilindro. |
| Tornillo de izaje | 2031/2035 | Tornillo de potencia Acme / Buje de desplazamiento de bronce | PROC 9 | Entrenamiento al personal técnico en el manejo adecuado de las grasas y uso de herramientas de lubricación para no contaminar la grasa. |
| Tornillo de izaje | 2031/2035 | Tornillo de potencia Acme / Buje de desplazamiento de bronce | PROC 10 | Crear un procedimiento para el montaje adecuado del tornillo de potencia, verificando antes del montaje el estado de dientes, excentricidad y tolerancias de montaje con rodamientos cónicos y tuerca de bronce. |
| Tornillo de izaje | 2032 | Rodamientos cónicos tornillo de potencia | PROC 11 | Crear procedimiento para lubricar con grasa los rodamientos, teniendo en cuenta la cantidad adecuada. |

Tabla 29. Estrategia de mantenimiento para el sistema de giro del aspa raspadora. Fuente: los autores

| TAREAS PREVENTIVAS SISTEMA DE GIRO ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | | | |
|--|-----------------|---|------------|--------------------------|-------------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. TAREA | FRECUENCIA (MESES) | RECURSOS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor/Eje de giro | 2048/2051/2052 | Camisa eje de giro/Eje estriado/Anillo de lubricación | PM-20500 | 1 | 1 Mecánico | Lubricar eje estriado periódicamente e inspeccionar estado de graseras y tubing |
| Eje de giro | 2058 | Cojinete de latón | PM-20501 | 1 | 1 Mecánico | Lubricar con grasa el cojinete de latón. |
| Reductor | 2043/2044 | Unidad de reductor/Rodamientos radiales | PM-20502 | 3 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, ojos de buey, niveles, estado de retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpiar reductor. |
| Reductor | 2043/2044 | Conjunto de engranajes/Rodamientos radiales | PM-20503 | 3 | 1 Mecánico | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos, verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, mirillas y tomamuestras. Verificar nivel de aceite y girar eje de salida del reductor 5 vueltas. Reductor no debe estar en sitios de alta vibración. |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | PM-20504 | 12 | 2 Mecánicos | Inspeccionar condición de correas y poleas usando medidores de desgaste en poleas. |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | PM-20505 | 12 | 2 Mecánicos | Torquear tapones de los ojos de buey, niveles de aceite, purga y venteos. Inspeccionar estado de retenedores. |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | PM-20506 | 12 | 2 Mecánicos | Hacer una inspección visual del semieje, flanges, pernos y tuercas. |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | PM-20507 | 12 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de semieje para verificar grietas, corrosión e imperfecciones superficiales. |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | PM-20508 | 12 | 2 Mecánicos | Inspeccionar estado de aspa raspadora para verificar grietas, desgaste y rotura en cuchillas, corrosión e imperfecciones superficiales en semieje. |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | PM-20509 | 36 | 2 Mecánicos | Retirar grasa e inspeccionar detalladamente estado de dientes del eje, verificar si muestran desgaste, pitting, deformaciones, corrosión y oxidación. |
| Eje de giro | 2053/2054 | Soporte del cubo/Rodamientos cónicos | PM-20510 | 36 | 2 Mecánicos | Lubricar con grasa los rodamientos que se deslizan sobre el soporte del cubo. |
| Eje de giro | 2055 | Tuerca de bloqueo | PM-20511 | 36 | 2 Mecánicos | Torquear la tuerca de bloqueo. |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | PM-20512 | 36 | 2 Mecánicos | Torquear pernos de los flanges del semieje |
| Eje de giro | 205A | Estructura soporte | PM-20513 | 36 | 2 Mecánicos | Torquear pernos de la estructura soporte del eje de giro y cambiarlos si es necesario. |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | PM-20514 | 108 | 2 Mecánicos | Cambiar reductor con base a reportes de condición del equipo e historial de fallas |
| Reductor | 2046 | Aceite | PM-20515 | Durante cambio de aceite | 2 Mecánicos | Realizar lavado de reductor con el mismo aceite (flushing) cada vez que se realice el cambio de aceite |

| TAREAS PREDICTIVAS SISTEMA DE GIRO ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | | | |
|--|-----------------|--|------------|--------------------|---------------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. TAREA | FRECUENCIA (MESES) | RECURSOS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2042/2043/2044 | Ejes/Unidad de reductor/Rodamientos radiales | CM-20501 | 1 | 1 CBM | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. |
| Reductor | 2046 | Aceite | CM-20502 | 1 | 1 CBM | Rutina de toma de temperaturas en el reductor para verificar incremento de este parámetro. |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | CM-20505 | 1 | 1 CBM | Identificar con técnico CBM equipos que estén sometidos a alta vibración externa y aislarlos o rigidizarlos |
| Reductor | 2043/2044/2046 | Conjunto de engranajes/Rodamientos radiales/Aceite | CM-20503 | 6 | 1 Mecánico | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. |
| Eje de giro | 2050/2059 | Aspa raspadora/Semieje de aspa raspadora | CM-20504 | 36 | 2 Inspectores | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldadura de flanges, aspa raspadora y cuchillas. |

| TAREAS OPERATIVAS SISTEMA DE GIRO ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | | | |
|---|---------------------|---|------------|-------------------|------------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. TAREA | FRECUENCIA (DIAS) | RECURSOS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2043 | Unidad de reductor | OP-20501 | Cada arranque | 1 Operador | Rutina de inspección del nivel de aceite del reductor antes de arrancar el equipo. |
| Reductor | 2043/2044/2045/2047 | Unidad de reductor/Rodamientos radiales/Retenedores de aceite/Valvula de venteo | OP-20502 | 7 | 1 Operador | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. |
| Eje de giro | 2051 | Eje estriado | OP-20503 | 7 | 1 Operador | Rutina de inspección por parte del operador para verificar estado del tornillo guía. |
| Eje de giro | 2050 | Aspa raspadora | OP-20504 | 7 | 1 Operador | Rutina de inspección para detectar ruidos o vibración anormal en ejes. |

| CAMBIOS DE DISEÑO SISTEMA DE GIRO ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | |
|---|-----------------|--|----------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. DIS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | DIS-08 | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. |
| Reductor/Eje de giro | 204/205 | Reductor/Eje de giro | DIS-09 | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. |
| Eje de giro | 2053 | Soporte del cubo | DIS-10 | Durante el montaje instalar los pernos adecuados para las condiciones de carga del eje de giro. Debe ser especificado por fabricante. |
| Reductor/Eje de giro | 2045/2056 | Retenedores de aceite/Retenedores de grasa | DIS-11 | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida). |
| Reductor | 2043 | Conjunto de engranajes | DIS-12 | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte del Tech Center. |
| Reductor | 2043/2044/2046 | Rodamientos radiales/Conjunto de engranajes/Aceite | DIS-13 | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. |

| PROCEDIMIENTOS A DESARROLLAR EN SISTEMA DE GIRO ASPA RASPADORA DEL FILTRO | | | | |
|---|-----------------|---|-----------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. PROC | ALCANCE |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | PROC 12 | Implementar procedimiento para alinear entre poleas, teniendo en cuenta la tensión adecuada. El motor debe tener pernos para alinear. |
| Reductor | 2041 | Transmisión por correas-poleas | PROC 13 | Implementar un procedimiento adecuado para montar poleas con manguitos. |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | PROC 14 | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. |
| Reductor | 2044 | Rodamientos radiales | PROC 15 | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. |
| Reductor | 2042/2045 | Ejes/Retenedores de aceite | PROC 16 | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes y poleas. |
| Reductor | 2042 | Ejes | PROC 17 | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente ejes de los reductores, cuñeros, radios de curvaturas y cambios de secciones. |
| Eje de giro | 2059 | Semieje de aspa raspadora | PROC 18 | Implementar un procedimiento para torquar adecuadamente los pernos en las bridas del semieje. |
| Eje de giro | 2053 | Soporte del cubo | PROC 19 | Procedimiento de montaje y desmontaje de soporte de cubo, que incluya el torqueo de los pernos. |
| Reductor/Eje de giro | 2048/2051/2054 | Camisa de giro/Eje estriado/Rodamientos cónicos | PROC 20 | Tener un procedimiento para manipular adecuadamente la grasa y las herramientas de lubricación. |
| Reductor | 2048 | Camisa eje de giro | PROC 21 | Tener un procedimiento para montaje y desmontaje de camisa del eje estriado, con las tolerancias adecuadas. |
| Eje de giro | 2054 | Rodamientos cónicos | PROC 22 | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. |
| Eje de giro | 2055 | Tuerca de bloqueo | PROC 23 | Tener un procedimiento para montaje/desmontaje del eje estriado, soporte del cubo, rodamientos cónicos y tuerca de bloqueo. La cual debe ser torqueada según las recomendaciones del fabricante. |

Tabla 30. Estrategia de mantenimiento para el agitador del tanque de precipitación. Fuente: los autores

| TAREAS PREVENTIVAS AGITADOR DEL TANQUE DE PRECIPITACION | | | | | | |
|---|-----------------|---|-----------------------|-------------|------------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | FRECUENCIA (MESES) | RECURSOS | COD. TAREA | LISTA DE TAREAS |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | 1 | 1 Mecánico | PM-20606 | Lubricar con grasa los rodamientos cónicos del semieje del acople. |
| Reductor | 2062/2064 | Conjunto de engranajes/Rodamientos cónicos y radiales | 3 | 1 Mecánico | PM-20602 | Rutina de inspección para verificar en almacén el estado de los reductores, si están cubiertos y protegidos con recubrimientos anticorrosivos, verificar condiciones de humedad. Verificar venteos, mirillas y tomamuestras. Verificar nivel de aceite y girar eje de salida del reductor 5 vueltas. Reductor no debe estar en sitios de alta vibración. |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes/Rodamientos cónicos y radiales | 6 | 2 Mecánicos | PM-20603 | Inspeccionar estado de tapones de purga, venteo, niveles, retenedores, humedad y suciedad en la parte superior del reductor. Limpie reductor. Torque tapones de purga, venteo y nivel de aceite. |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | 12 | 2 Mecánicos | PM-20601 | Inspección visual general del estado del elástomero, ajuste pernos de acople, cámbielos si es necesario. Inspeccione grietas, corrosión y oxidación en manzana de acople. También inspeccione ajuste en eje, cuña y cuñero. |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | 12 | 2 Mecánicos | PM-20607 | Hacer una inspección visual del estado de bridas, verificando soldaduras o pernos y tuercas faltantes, grietas e imperfecciones superficiales en las bridas. |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | 12 | 2 Mecánicos | PM-20610 | Inspección visual externa de eje y cubo para detectar deslizamiento del cubo. |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | 12 | 2 Mecánicos | PM-20613 | Inspección visual externa para verificar estado de espas, soldaduras en pernos. Verificar pernos faltantes. |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | 36 | 2 Mecánicos | PM-20608 | Torquear pernos de las bridas del semieje y eje de agitador. Cambiarlos si es necesario. |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | 36 | 2 Mecánicos | PM-20609 | Inspeccionar en eje grietas, imperfecciones, corrosión y oxidación superficial. Verifique run-out del eje. |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | 36 | 2 Mecánicos | PM-20611 | Torqueo de los prisioneros del cubo e inspección de cuña y cuñero. |
| Eje de agitador | 2076/2077 | Aspas/Estructura soporte | 36 | 2 Mecánicos | PM-20612 | Torquear pernos de espas e inspeccionar grietas, corrosión, deformación de las espas e imperfecciones en la superficie. Cambiar si es necesario. |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | 36 | 2 Mecánicos | PM-20614 | Inspeccionar en eje cubo grietas, imperfecciones, corrosión y oxidación superficial. |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | 108 | 2 Mecánicos | PM-20604 | Cambiar reductor con base a reportes de condición del equipo e historial de fallas. |
| Reductor | 2066 | Sistema de lubricación-Aceite | Cada cambio de aceite | 2 Mecánicos | PM-20605 | Realizar lavado de reductor con el mismo aceite (flushing) cada vez que se realice el cambio de aceite |

| TAREAS PREDICTIVAS AGITADOR DEL TANQUE DE PRECIPITACION | | | | | | |
|---|-----------------|---|--------------------|---------------|------------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | FRECUENCIA (MESES) | RECURSOS | COD. TAREA | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | 1 | 1 CBM | CM-20601 | Análisis de vibraciones en baja frecuencia para detectar falla en elástomero. |
| Reductor | 2062/2063/2064 | Conjunto de engranajes/Rodamientos cónicos y radiales/Ejes de reductor | 1 | 1 CBM | CM-20603 | Rutina de toma de vibraciones en alta y baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas en rodamientos, engranajes y aceite. |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | 1 | 1 CBM | CM-20604 | Identificar con técnico CBM equipos que estén sometidos a alta vibración externa y aislarlos o rigidizarlos |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | 1 | 1 CBM | CM-20605 | Rutina de toma de temperaturas en el reductor para verificar incremento de este parámetro. |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | 1 | 1 CBM | CM-20606 | Rutina de toma de vibraciones en baja frecuencia, como temperatura para detectar fallas por rodamientos y desalineamiento |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | 1 | 1 CBM | CM-20608 | Rutina de toma de vibraciones en baja frecuencia, como temperatura para detectar vibración causada por desbalance en eje, excentricidad, paso de aspas o desalineamiento. |
| Reductor | 2062/2064/2066 | Conjunto de engranajes/Rodamientos cónicos y radiales/Sistema de lubricación-Aceite | 6 | 2 Mecánicos | CM-20602 | Análisis de aceite para verificar propiedades físico-químicas del aceite, cantidad de partículas metálicas y contaminantes. |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople/Eje de agitador/Cubo porta-aspas | 36 | 2 Inspectores | CM-20607 | Realizar prueba de tintas penetrantes en soldaduras de bridas del semieje y eje del agitador, cubo porta-aspas. |

| TAREAS OPERATIVAS AGITADOR TANQUE DE PRECIPITACION | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------------------------|-------------------|------------|------------|--|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | FRECUENCIA (DIAS) | RECURSOS | COD. TAREA | LISTA DE TAREAS |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | 7 | 1 Operador | OP-20600 | Rutina de inspección por parte del operador, teniendo en cuenta: ruido inusual, olor inusual y fragmentos de elástomero y tornillos partidos. |
| Reductor | 206 | Reductor | 7 | 1 Operador | OP-20601 | Rutina de inspección por parte del operador para detectar fugas de aceite por tapones de purga, venteo, mirillas y ruidos anormales. Inspeccionar nivel de aceite y adicionar si es necesario. |
| Reductor | 2062 | Unidad de reductor | 7 | 1 Operador | OP-20602 | Rutina de inspección del nivel de aceite del reductor antes de arrancar el equipo. |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | 7 | 1 Operador | OP-20603 | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores a el eje, bridas y aspas del agitador. |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | 7 | 1 Operador | OP-20604 | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores para detectar desplazamiento del cubo. |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | 7 | 1 Operador | OP-20605 | Establecer una rutina de inspección visual por parte de los operadores para detectar estado de alabas. |
| Eje de agitador | 2077 | Estructura soporte | 7 | 1 Operador | OP-20606 | Rutina de inspección por parte de operador para verificar estado de soporte y de pernos de sujeción (oxidación, corrosión, fractura). |

| CAMBIOS DE DISEÑO AGITADOR TANQUE DE PRECIPITACION | | | | |
|--|-----------------|--|----------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. DIS | LISTA DE TAREAS |
| Reductor/Eje de agitador | 206/207 | Reductor/Eje de agitador | DIS-14 | Tener un mecanismo de disparo para evitar el incremento de potencia y torque por encima del factor de servicio del motor. |
| Reductor | 2062 | Conjunto de engranajes | DIS-15 | Realizar una adecuada selección del reductor, teniendo en cuenta torque, rpm y especificaciones de materiales de engranajes. Usar en lo posible el soporte del Tech Center. |
| Reductor | 206 | Reductor | DIS-16 | Usar aceite con aditivos antidesgaste, extrema presión y demulsibilidad. |
| Reductor | 2064/2065 | Rodamientos cónicos y radiales/Retenedores de aceite | DIS-17 | Tener un mecanismo de disparo para evitar la disminución de potencia y torque por debajo del factor de servicio del motor. |
| Reductor/Eje de agitador | 2065/2072 | Retenedores de aceite/Retenedores de grasa | DIS-18 | Mejorar material de los retenedores. Pasar de Buna-N (5 años de vida) a Vitón (20 años de vida) |

| PROCEDIMIENTOS A DESARROLLAR EN AGITADOR TANQUE DE PRECIPITACION | | | | |
|--|-----------------|---|-----------|---|
| DESCRIPCION SUBUNIDAD | Ref. COMPONENTE | COMPONENTE | COD. PROC | ALCANCE |
| Reductor | 2061 | Conjunto acople (manzana-elástomero) | PROC-24 | Procedimiento de instalación de acople, con tolerancias adecuadas para evitar juego axial y radial. El procedimiento también debe incluir la alineación dentro de tolerancias radiales y axiales. |
| Reductor | 2062/2063/2065 | Conjunto de engranajes/Ejes de reductor/Retenedores de aceite | PROC-25 | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente dientes de engranajes y eje. Montaje y desmontaje de engranajes, rodamientos y retenedores. Alineación entre engranajes. |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | PROC-26 | Tener procedimiento para montaje de rodamientos radiales y cónicos en ejes, con tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. |
| Reductor | 2064 | Rodamientos cónicos y radiales | PROC-27 | Tener procedimiento para almacenar, embalar y transportar rodamientos. |
| Reductor | 2063 | Ejes de reductor | PROC-28 | Crear un procedimiento para inspeccionar visualmente ejes de los reductores, cuñeros, radios de curvaturas y cambios de secciones. |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | PROC-29 | Tener procedimiento para montaje de rodamientos cónicos en semi-eje de agitador, con las tolerancias adecuadas en eje y alojamientos. Se deben tener las herramientas adecuadas. |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | PROC-30 | Tener un procedimiento para manipular adecuadamente la grasa y las herramientas de lubricación. |
| Eje de agitador | 2073/2074 | Semi-eje de acople/Eje de agitador | PROC-31 | Implementar un procedimiento para torquar adecuadamente los pernos en las bridas del semi-eje y eje. |
| Eje de agitador | 2073 | Semi-eje de acople | PROC-32 | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de semi-eje. Este procedimiento incluye montaje/desmontaje de los rodamientos con sus tolerancias, retenedores, montaje de acople y alineación y torque de pernos de las bridas. |
| Eje de agitador | 2074 | Eje de agitador | PROC-33 | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de eje. Verificar tolerancias radiales del eje y comparar con las del fabricante después de hacer run-out antes y después de montaje. |
| Eje de agitador | 2075 | Cubo porta-aspas | PROC-34 | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de cubo, con las tolerancias de ajuste y torqueo de prisioneros adecuadas, para evitar el juego radial y axial. |
| Eje de agitador | 2076 | Aspas | PROC-35 | Implementar un procedimiento de montaje/desmontaje de las aspas, con el torqueo adecuado. |
| Eje de agitador | 2071 | Rodamientos cónicos | PROC-36 | Procedimiento detallado para el montaje y desmontaje del semieje de acople con el respectivo eje. Incluye montaje de rodamientos, aspas y alineación entre acoples. |

9. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una matriz de criticidad con base en el método de factores ponderados de la firma The Woodhouse Partnership Limited, donde se establecieron criterios desde el punto de vista de producción, operaciones, confiabilidad, costos, seguridad, salud y medio ambiente. Se aplicaron los criterios de la matriz a 22 equipos rotativos del área de precipitación, donde se muestra que el 81,8% de los equipos, representados en 18 equipos no son críticos, el 4.5%, representado en un equipo es medio crítico y el 13.7%, representado en tres equipos son críticos.
- Los equipos que resultaron dentro del rango de críticos, de acuerdo a la matriz criticidad con valores de 129, 172 y 43, producto de la multiplicación de la probabilidad de falla por las consecuencias, fueron en su orden: el agitador de precipitación, el sistema de desplazamiento vertical del aspa raspadora del filtro y el sistema de giro del aspa raspadora del filtro. En estos equipos la ponderación de la consecuencias de las fallas fue de 43 en cada uno, lo que indica que el sistema de desplazamiento vertical, tiene el mayor valor de criticidad, porque presenta la mayor ponderación en la probabilidad de falla, con un valor de 4, ocasionado por su corto tiempo medio entre fallas, mientras que el sistema de giro a pesar de tener una alta ponderación por las consecuencias presentadas si falla, mantiene una tasa de fallas baja, siendo esta 1. A estos equipos se les aplicó el FMEA para determinar las tareas, tipos y frecuencias de mantenimiento.
- Se usó como metodología para definir las tareas de mantenimiento de los equipos críticos, el FMEA (Failures Modes and Effects Analysis), basado en la norma británica BS5760-2, la cual es una guía para el análisis de criticidad de los modos de fallas y sus efectos (FMEA y FMECA). El FMEA desarrollado para cada equipo estableció tareas de tipo preventivo,

predictivo, de búsqueda de fallas, las cuales serán realizadas por rutinas de inspección de los operadores; tareas de eliminación de fallas, las cuales se encaminaron a mejorar competencias en el personal técnico, a través de la aplicación de procedimientos y entrenamientos técnicos; tareas de cambio de diseño, las cuales buscan cambiar y mejorar componentes, materiales o diseño del equipo y tareas de operar hasta falla.

- La estrategia presentada contiene la descripción de las tareas de mantenimiento, junto con el tipo y frecuencia de mantenimiento a implementar. También la estrategia define el recurso que debe realizar esta actividad.

Los resultados de la estrategia muestran que las mayorías de tareas son de tipo preventivo, las cuales corresponden al 37% de las tareas de mantenimiento, lo cual se justifica porque los equipos críticos, de acuerdo a su tiempo de operación, se encuentran en una tasa de probabilidad de falla alta.

La tarea de eliminación de fallas cuentan con el 27% de las tareas de la estrategia, debido a que el objetivo es aumentar la confiabilidad de los equipos, teniendo la aplicación de buenos procedimientos de mantenimiento y entrenamiento técnico al personal de mantenimiento.

En orden de resultados tenemos las tareas de cambio de diseño, las tareas predictivas y las tareas de búsqueda de fallas con un 13%, 12.6% y 10.4% respectivamente

Tabla 31. Resumen actividades mantenimiento equipos críticos. Fuente: los autores

| Equipo | Tarea Preventiva | Tarea predictiva | Busqueda de fallas | Eliminación de fallas | Cambio de diseño |
|--|------------------|------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| Agitador de Precipitación | 14 | 8 | 7 | 13 | 5 |
| Sistema desplazamiento vertical aspa raspadora | 20 | 4 | 3 | 11 | 7 |
| Siste de giro aspa raspadora | 16 | 5 | 4 | 12 | 6 |
| Total | 50 | 17 | 14 | 36 | 18 |

- Esta monografía se desarrolló teniendo en cuenta los conceptos de jerarquía, fronteras y datos básicos de confiabilidad y equipos, de acuerdo a la norma ISO 14224.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGUREN, José; et. al.. Generación de Planes Óptimos de Inspección para Equipos Estáticos en Instalaciones Petroleras: Reliability and Risk Management. Integrity Assessment Services. s.l. s.n., s.f.

BORRAS P., Carlos. Memorias módulo principios de mantenimiento. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: UIS, 2011. 152 p

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries: collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BS EN ISO 14224: 2006. London: BSI, 2007.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Reliability of system, equipment and components. BS 5760-5:1991. London: BSI, 1999

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Memorias módulo mantenimiento preventivo. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: UIS, 2011. 148 p

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Memorias módulo seminario II: Monografía de la especialización. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: UIS, 2012

HUERTA MENDOZA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Confiabilidad.NET. Available from Internet: <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/> [citado el 1 de septiembre de 2012]

MOBLEY, R. Keith; et. al. Maintenance Engineering Handbook. 7 ed. New York: Mc Graw Hill, 2008. 1244 p.

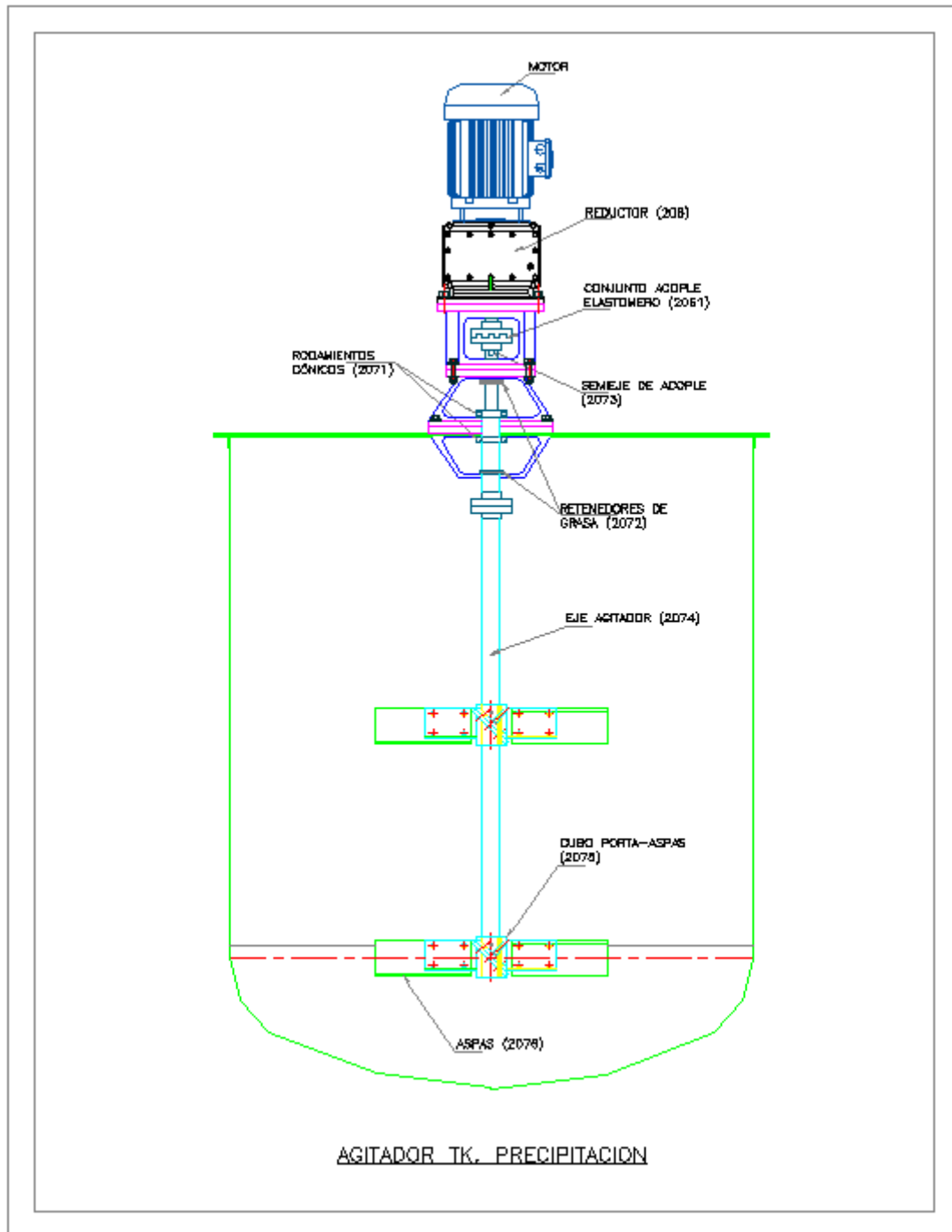
MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad: RCM II. México: Aladon LLC, 2004. 433 p.

NAVARRO ELOLA, Luis; et al. Gestión integral de Mantenimiento. Barcelona: marcombo, 1997. 112 p.

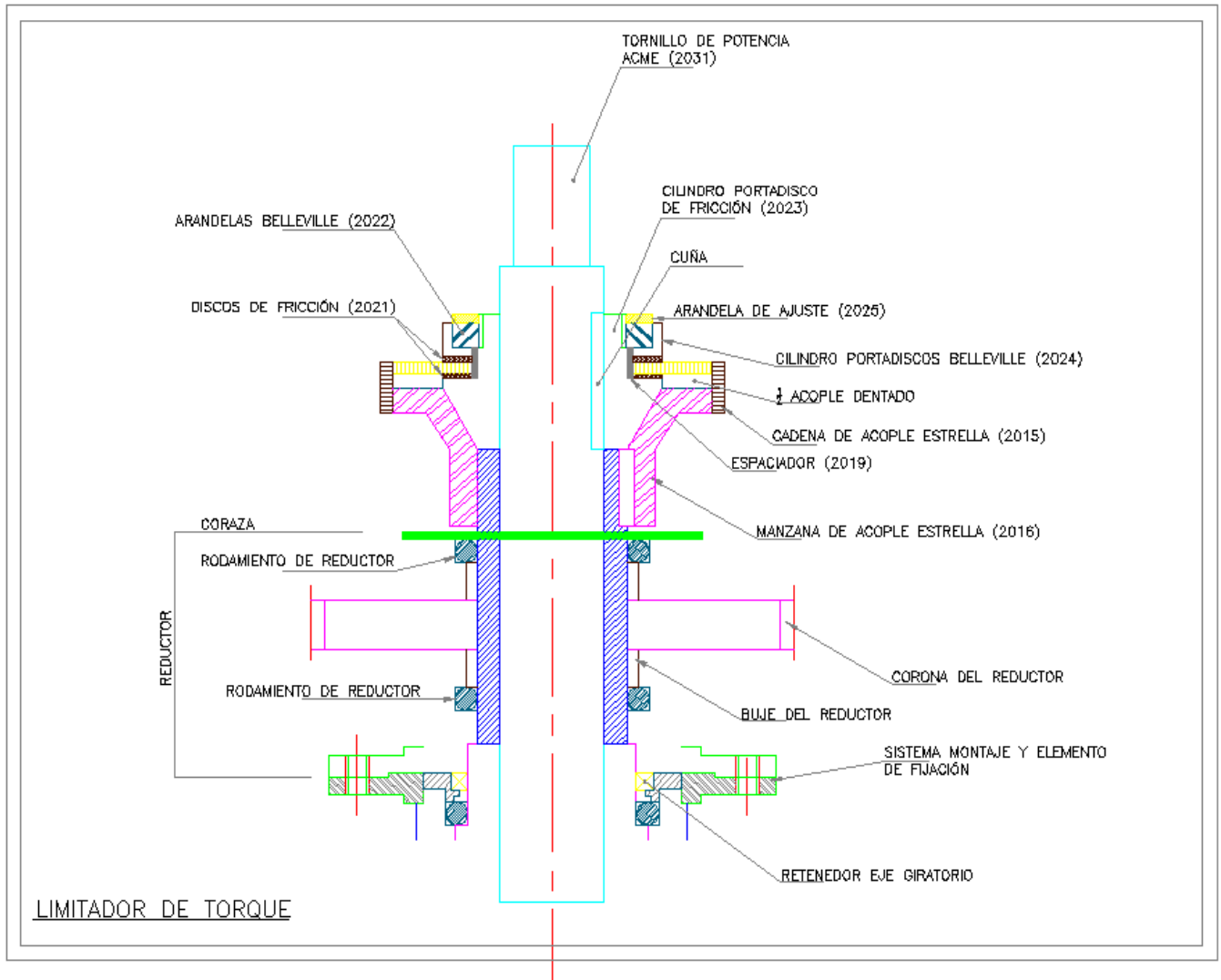
ORTIZ PLATA, Daniel. Memorias módulo mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. [CD ROM]: Windows 95 o posterior. Bucaramanga: UIS: Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2012

WOODHOUSE, Jhon. Criticality Analysis Revisited. Newbury: The Woodhouse Partnership Limited, 1994

ANEXO A. Plano agitador tanque de precipitación



ANEXO B. Plano limitador de torque sistema de desplazamiento vertical



ANEXO C. Plano tornillo de potencia sistema de desplazamiento vertical

