

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN ESTRATEGICA DE
REPUESTOS BASADA EN LA CONFIABILIDAD”**

Memoria para optar al Título de:

INGENIERO MECÁNICO

ALUMNO : JOSÉ P. FLORES GUTIÉRREZ

PROFESOR GUÍA : ORLANDO DÚRAN

RIGOBERTO GUARDIA

2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres Andrés Flores y Alicia Gutiérrez por el apoyo incondicional brindado en este arduo camino. A mis hermanos Manuel y Sebastián Flores quienes estuvieron presentes en todo momento.

De igual manera quiero agradecer a mi familia por sus consejos y palabras de aliento.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Finalmente les doy las gracias a todas aquellas personas que han sido parte de este ciclo.

RESUMEN

El siguiente trabajo de memoria de título fue realizado en un Puerto Multipropósito de Chile, con motivo de salvaguardar la información facilitada se optó por no mencionar el nombre de dicho Puerto, por lo que se procedió con el nombre ficticio de Puerto WSA. El presente estudio tiene como fin idear una metodología de gestión estratégica de repuestos basada en la confiabilidad para los elementos que se encuentran bajo mantenimiento proactivo, lo que conllevó analizar los requerimientos reales que puede tener el equipo de mantención para proponer un modelo que se acomode a las solicitudes de la empresa.

El presente trabajo se compone de cinco partes fundamentales: descripción de servicios ofrecidos, equipos del ámbito portuario, esclarecimiento de técnicas usadas para el desarrollo de mantenimiento proactivo, desarrollo del modelo a proponer y la aplicación de la metodología a un caso simulado.

La primera parte consistió en describir en forma general los diferentes servicios que puede ofrecer a sus clientes, además de dar a conocer los equipos genéricos que se suelen encontrar en el ámbito portuario.

Luego se dio a conocer las diversas técnicas que se requirieron en la elaboración del mantenimiento proactivo, técnicas como Árbol Jerárquico de Activos Productivos (AJAP), Análisis de Modo de Falla y sus Efectos (AMFE), Análisis de Criticidad (ADC) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM2).

Posteriormente se desarrolló la propuesta del modelo de gestión de repuestos basada en la confiabilidad. Para tal se consideraron las técnicas anteriormente mencionadas y continuando el proceso para lograr cubrir los requerimientos de repuestos que el mantenimiento proactivo conlleva. Finalmente se procedió con un caso simulado del modelamiento propuesto, en donde se explicó el modo de aplicación y los diferentes casos que se pueden dar.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	11
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
1.2.3 JUSTIFICATIVA	11
MARCO TEÓRICO	12
2.1 MANTENIMIENTO PROACTIVO	12
2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	12
2.3 NORMA ISO 14224 – AJAP.....	14
2.4 ANALISIS MODO DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE).....	15
2.5 ANALISIS DE CRITICIDAD (ADC).....	15
2.5.1 ANALISIS DE CRITICIDAD CUALITATIVO	15
2.5.2 ANALISIS DE CRITICIDAD CUANTITATIVO	16
2.6 GESTION DE REPUESTOS BASADO EN CONFIABILIDAD.....	17
ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	22
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	22
3.2 SERVICIOS OFRECIDOS POR PUERTO WSA.....	23
3.2.1 TRANSFERENCIA DE GRANELES SOLIDOS Y LIQUIDOS.....	23
3.2.2 ESTIBA Y DESESTIBA.....	24
3.2.3 ALMACENAJE	25
3.2.4 ATENCIÓN DE NAVES	26
3.2.5 TRANSPORTE TERRESTE.....	26

3.3 MAQUINARIA GENERICA EN PUERTOS MULTIPROPOSITO	27
3.3.1 MAQUINARIA PARA TRANSFERENCIA DE GRÁNELES SOLIDOS	27
3.3.2 MAQUINARIA PARA TRANSFERENCIA DE GRÁNELES LÍQUIDOS	30
MODELO PROPUESTO	32
4.1 INTRODUCCIÓN	32
4.2 CONSIDERACIONES DEL MODELO.....	32
4.3 DESARROLLO DEL MODELO	34
4.3.1 ELEMENTOS A y B.....	35
4.3.2 LEVANTAMIENTO DE REPUESTOS.....	35
4.3.3 CRUCE/FILTRO CON RCM	44
4.3.4 ANALISIS DE CRITICIDAD	49
4.3.5 STOCK DE SEGURIDAD DE REPUESTOS.....	51
CASO DE APLICACIÓN	54
5.1 ELEMENTOS A y B	54
5.2 LEVANTAMIENTO DE REPUESTOS.....	57
5.3 CRUCE/FILTRO CON RCM	70
5.4 CRITICIDAD DE REPUESTOS.....	76
5.5 STOCK DE SEGURIDAD	81
CONCLUSIÓN.....	87
6. CONCLUSIÓN	87
BIBLIOGRAFÍA	88
7.1 BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS	91
8.1 ANEXOS.....	91
ANEXO 1: ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE).....	92

ANEXO 2: ADC LINEA DE DESCARGA DE GRANELES	93
ANEXO 2.1: TABLA DE FACTOR OCURRENCIA DE FALLA	94
ANEXO 2.2: FACTOR COSTO PÉRDIDA POR DEMORA.....	95
ANEXO 2.3: FACTOR COSTO PÉRDIDA DE MANTENIMIENTO	96
ANEXO 2.4: INTERVALOS DE CRITICIDAD	96
ANEXO 3: RCM A FAMILIA DE ELEMENTO.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Diagrama de decisión RCM 2.....	13
Figura N° 2: Taxonomía según ISO 14224	14
Figura N° 3: Modelo del flujograma de criticidad.....	16
Figura N° 4: Matriz de criticidad.....	18
Figura N° 5: Diagrama de criticidad tras un análisis de RCM2	19
Figura N° 6: Diagrama de decisión RCS.....	21
Figura N° 7: Eslora y calado de un buque	23
Figura N° 8: Accidente portuario.....	24
Figura N° 9: Deposito de gráneles sólidos	25
Figura N° 10: Ferrocarril de carga.....	26
Figura N° 11: Grúa level luffing.....	28
Figura N° 12: Pala granelera.....	29
Figura N° 13: Tolva granelera	29
Figura N° 14: Correa Transportadora	30
Figura N° 15: Sala de Bombas centrifugas.....	31
Figura N° 16: Circuito de Tuberías.....	31
Figura N° 17: Diagrama dientes de sierra.....	33
Figura N° 18: Diagrama de flujo Repuestos centrados en Confiabilidad.....	34
Figura N° 19: Diagrama de clasificación de elementos.....	36
Figura N° 20: Diagrama de decisión clasificación de elementos	38
Figura N° 21: Diagrama general clasificación de piezas.....	41
Figura N° 22: Diagrama de decisión clasificación de piezas.....	42
Figura N° 23: Curva Falla súbita	44
Figura N° 24: Curva P-F.....	45

Figura N° 25: Intervalo fallo potencial, IFP	46
Figura N° 26: Diferentes fallas potenciales que pueden preceder a un modo de falla	47
Figura N° 27: Intervalo fallo potencial Neto, IFP Neto.....	48
Figura N° 28: Repuestos con modalidad JIT o ADC.....	48
Figura N° 29: Curva Costo-Nivel de servicio.....	51
Figura N° 30: Grafica circular cantidad total de elementos sistema de descarga.....	56
Figura N° 31: Diagrama de Finalización de Etapa	57
Figura N° 32: Diagrama de decisión clasificación de elementos MOTOR ELEC	59
Figura N° 33: Diagrama de decisión clasificación de elementos Reductor.....	60
Figura N° 34: Placa característica de un reductor industrial marca SEW	62
Figura N° 35: Estructura general del reductor industrial de la serie MC marca SEW	63
Figura N° 36: Diagrama de decisión clasificación de piezas Eje de salida [100]	65
Figura N° 37: Diagrama de decisión clasificación de piezas Rodamiento [110]	66
Figura N° 38: Diagrama de decisión clasificación de piezas Rueda de salida [199].....	67
Figura N° 39: Diagrama de Finalización de Etapa	70
Figura N° 40: Curva P-F IFP Neto Rodamiento [110]	74
Figura N° 41: Diagrama de Finalización de Etapa	76
Figura N° 42: Diagrama de Finalización de Etapa	81
Figura N° 43: Distr.de Poisson Acumulada caso 2 Rodamiento [110]	84
Figura N° 44: Distr. de Poisson Acumulada caso 3 Rodamiento [110]	85
Figura N° 45: Diagrama de Finalización de Etapa	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Combinaciones de clasificación de elementos	40
Tabla N° 2: Niveles de criticidad.....	50
Tabla N° 3: Muestra de clasificación ABC a elementos	55
Tabla N° 4: Cantidad total de elementos sistema de descarga	55
Tabla N° 5: Elementos seleccionados.....	58
Tabla N° 6: Clasificación Diagrama de decisión clasificación de elementos.....	58
Tabla N° 7: Clasificación Diagrama de decisión clasificación de piezas	64
Tabla N° 8: Levantamiento de Repuestos Elementos A y B	69
Tabla N° 9: Tareas de Mantenimiento asociadas a piezas P/R	72
Tabla N° 10: IFP neto Rodamiento [110].....	74
Tabla N° 11: Ratio de ADC Rodamiento [110].....	75
Tabla N° 12: Factor Ocurrencia de fallas de piezas.....	78
Tabla N° 13: Factor costo por falta de repuesto	79
Tabla N° 14: Intervalos de criticidad y Nivel de servicio.....	79
Tabla N° 15: Criticidad de Repuestos y Nivel de servicio Rodamiento [110].....	80
Tabla N° 16: Información caso simulado Rodamiento [110]	82
Tabla N° 17: Calculo caso 1 Stock de seguridad Rodamiento [110].....	83
Tabla N° 18: Calculo caso 2 Stock de seguridad Rodamiento [110].....	84
Tabla N° 19: Calculo caso 3 Stock de seguridad Rodamiento [110].....	85

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha ido cambiando la percepción del departamento de mantención, ya no es visto como un gasto innecesario, sino como inversión; permitiendo que todos los miembros de la empresa se alineen hacia un mismo fin.

Al ser parte de una sociedad de constantes avances, toda empresa se ve en la obligación de actualizar sus técnicas de mantención con el fin de asegurar su continuidad en un mercado competitivo como es el de hoy en día.

El desarrollo de este trabajo se realizó en un Puerto multipropósito, dedicado principalmente a la carga y descarga de gráneles sólidos y líquidos, con motivo de salvaguardar la información de dicho Puerto, se adoptó el nombre de Puerto WSA.

Referente a este escenario portuario de carga y descarga de gráneles sólidos y líquidos donde, uno de los factores más significativos en la producción es el clima, la operación se convierte un área dependiente de éste. Además, cualquier detención inesperada producto de una falla en un día normal de funcionamiento puede conllevar elevados costos por indisponibilidad.

En base a lo anterior, Puerto WSA decidió adoptar la modalidad de mantenimiento Proactivo, basado en las técnicas de confiabilidad de RCM2 (Reliability-centred Maintenance), este trabajo está enfocado en la elaboración de un Modelo de Gestión Estratégica de Repuestos basada en la Confiabilidad, con motivo de cubrir los requerimientos de repuestos a dicha modalidad de mantención.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Definir y Proponer un modelo de Gestión de Repuestos basado en la Confiabilidad para el sector de mantenimiento de la empresa Puerto WSA, con el fin de asegurar una adecuada disponibilidad de repuestos en base a los requerimientos reales de los equipos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comprender la metodología RCM2 aplicada para el mantenimiento Proactivo.
- Proponer y definir una metodología de clasificación de elementos.
- Proponer y definir una metodología para la identificación de los repuestos acorde a los requerimientos reales.
- Proponer método de identificación de repuestos con política de abastecimiento just in time
- Establecer método de criticidad de repuestos.
- Definir y proponer método para cálculo de nivel stock de seguridad de repuestos.

1.2.3 JUSTIFICATIVA

Adoptar una nueva modalidad de mantención como lo es Mantenimiento Proactivo, que implica administrar de manera precisa el conjunto crítico de repuestos, de tal forma de cubrir los nuevos requerimientos que este mantenimiento conlleva. El no realizar dicha actualización imposibilitará la correcta aplicación de esta nueva forma de mantención, obteniendo resultados opuestos a los esperados.

MARCO TEÓRICO

2.1 MANTENIMIENTO PROACTIVO

El mantenimiento Proactivo es una modalidad de mantención que involucra las técnicas del mantenimiento preventivo y predictivo, se basa en la detección y corrección de las causas que puedan producir una falla funcional en los equipos, prolongando la vida útil de éstos. Dentro de lo más destacado de esta modalidad de mantención es evitar detenciones inesperadas que puedan afectar la normalidad de la línea productiva. Este tipo de mantenimiento se basa en las técnicas otorgadas por el mantenimiento centrado en confiabilidad más conocido por sus siglas en inglés RCM2 (Reliability-centred Maintenance).

2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Mantenimiento centrado en confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional actual. (Moubray, 2004, pág. 7)

El principal objetivo de esta metodología de mantención es prolongar la vida útil de los equipos bajo condiciones de funcionamiento preestablecidas, desarrollando y mejorando planes de mantenimiento acordes a este nuevo enfoque de mantención.

Para ello se debe utilizar técnicas que faciliten la recolección de datos de dichos equipos, técnicas basadas en la norma ISO 14224 que permite desarrollar una jerarquización de activos denominada AJAP (Árbol Jerárquico de Activos Productivos), clasificación de los equipos a través de un Análisis de Criticidad (ADC), identificar la(s) función(es) que cumple(n) y los modos o causas de falla y sus efectos AMFE (Análisis de Modo de Falla y sus Efectos); las técnicas mencionadas permiten discernir a que aplicar esta metodología de RCM2 a través diagrama del decisión, que se puede apreciar en la figura N° 1.

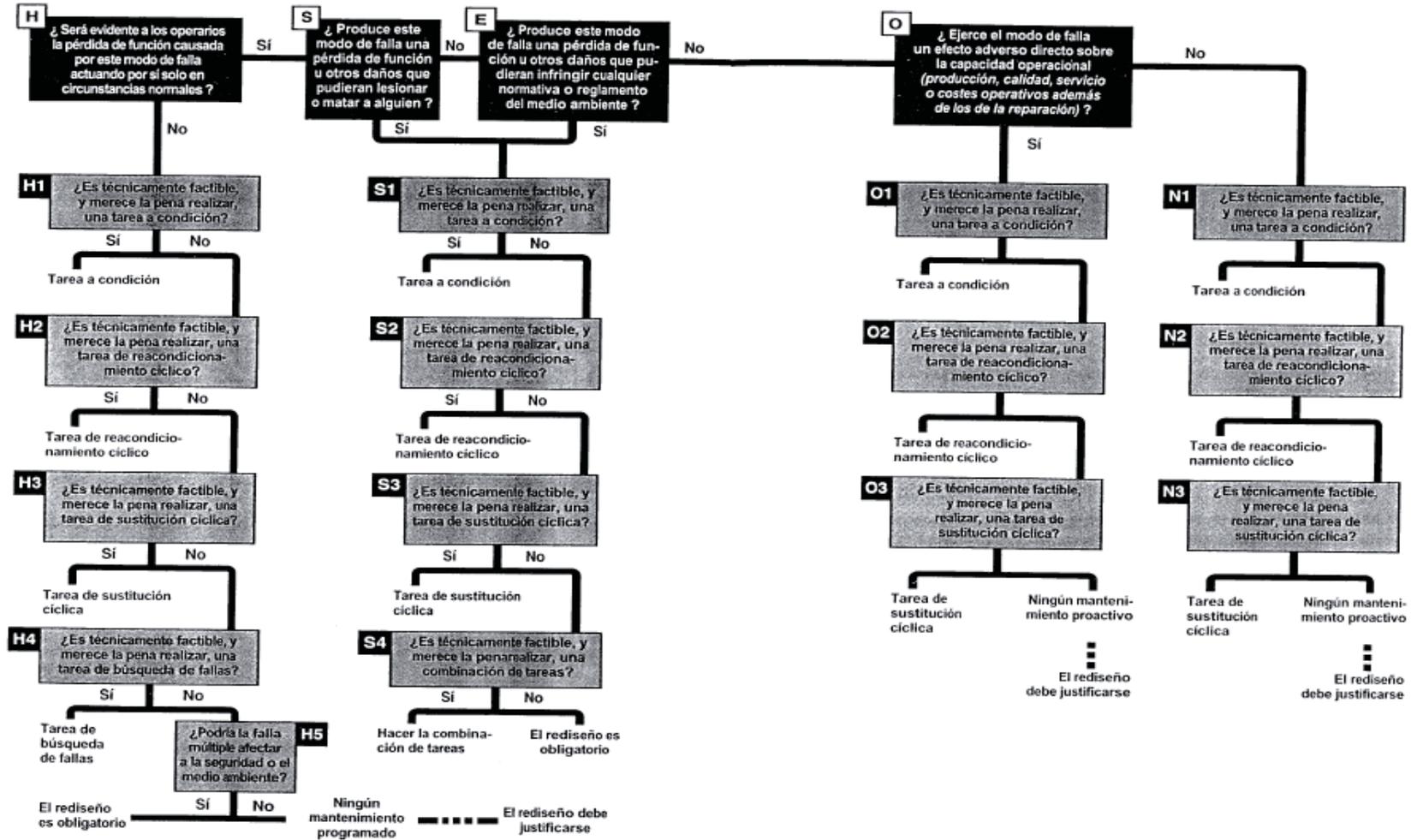


Figura N° 1: Diagrama de decisión RCM 2

Fuente: (Moubray, 2004)

2.3 NORMA ISO 14224 – AJAP

La ISO 14224 es una normativa que otorga las pautas en la recolección de datos, especialmente registro de fallas, es usada principalmente en las industrias petroleras, gas natural y petroquímicos, en las cuales el enfoque común es la seguridad, confiabilidad y facilidad de mantenimiento de equipos, debido al alto impacto de indisponibilidad que puede provocar una falla funcional.

Para llevar a cabo dicha recolección de datos se vuelve de vital importancia realizar un AJAP (Árbol Jerárquico de Activos Productivos) basado en la taxonomía de la norma ISO 14224, en la cual se establece una clasificación en diferentes grupos referente a características que posean en común. Ver figura 2.

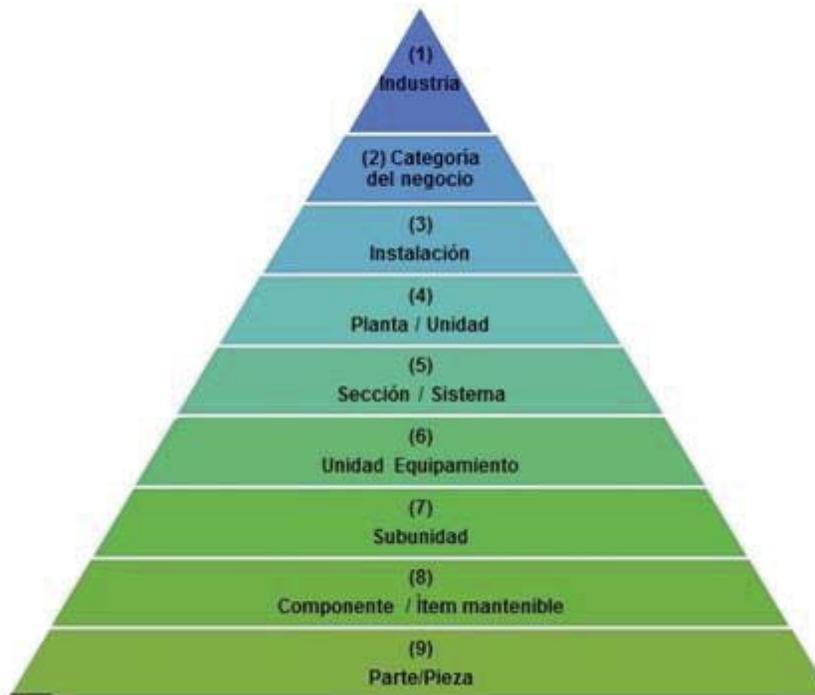


Figura N° 2: Taxonomía según ISO 14224

Fuente: Puerto WSA

2.4 ANALISIS MODO DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

AMFE es una técnica dedicada al estudio de fallas funcionales, para ello lo primero que se debe conocer es la función (es) que cumple el equipo a analizar, esto se aplica a partir del ítem mantenible según la taxonomía ISO 14224, es decir a los niveles 8 y 9 respectivamente. Ya identificada la función (es), se procede a analizar la manera en que puede producirse una falla funcional, la finalidad de esto es encontrar las diversas maneras en que se puede producir dicha pérdida de función en el equipo, lo que permite determinar el efecto que produce en la industria, ver anexo 1.

La utilización adecuada de esta técnica, en conjunto con RCM2 permite tomar decisiones acertadas al momento de definir el plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

2.5 ANALISIS DE CRITICIDAD (ADC)

El análisis de criticidad, es una herramienta que permite priorizar equipos a través del análisis de diversos parámetros que se consideren relevantes a la hora de realizar la evaluación de éstos, para así obtener un indicador que los clasifique en base el riesgo que representa, con esto es posible enfocar de mejor manera los recursos de la empresa. Los indicadores suelen ser A,B,C, representando equipos críticos, importantes y comunes respectivamente. Para obtener estos indicadores existen dos grandes formas, ADC Cualitativo y ADC Cuantitativo.

2.5.1 ANALISIS DE CRITICIDAD CUALITATIVO

El Análisis de Criticidad Cualitativo se basa en la opinión de expertos, en donde se realiza una secuencia de preguntas a partir de los parámetros de interés ya seleccionado, éstos pueden ser de índole medio ambiente, seguridad, laboral, entre otros. Ver figura N° 3.

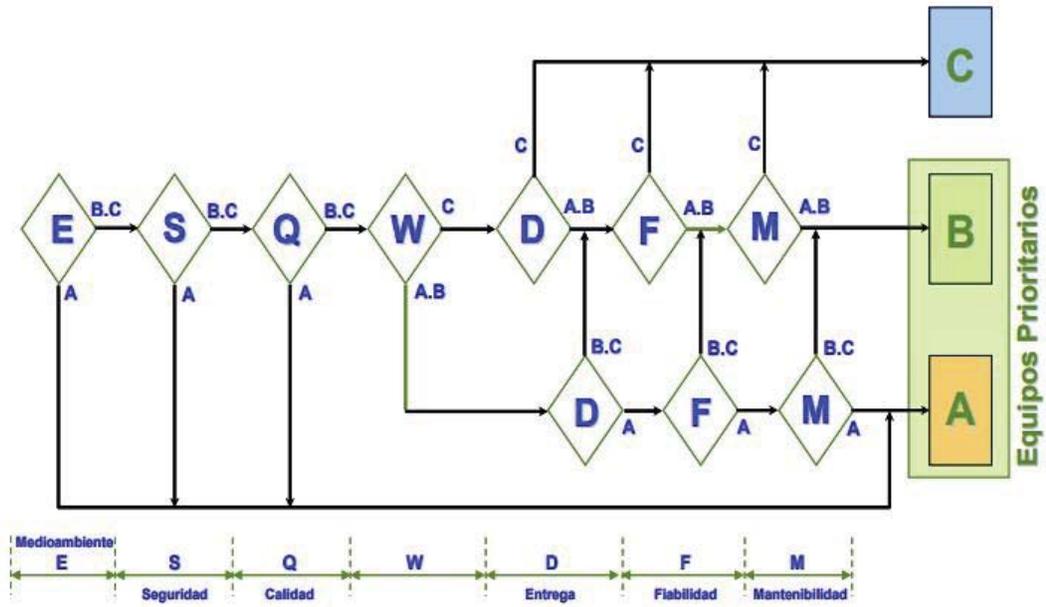


Figura N° 3: Modelo del flujoograma de criticidad

Fuente: (Crespo Márquez & Parra Márquez, 2012) Recuperado de <https://bit.ly/2J4tk4y>

Como se logra apreciar en la figura N°3, este tipo de ADC se realiza de manera secuencial, en donde se clasifica según sea la respuesta de cada pregunta, para así obtener el indicador de criticidad.

2.5.2 ANALISIS DE CRITICIDAD CUANTITATIVO

El Análisis de Criticidad Cuantitativo se realiza en base a la trazabilidad de los equipos, en donde se trabaja con parámetros cuantificables a la hora de evaluar, a modo genérico se define criticidad de la siguiente forma:

$$\text{Criticidad: Ocurrencia} * \text{Consecuencias}$$

En donde la ocurrencia se relaciona a la frecuencia de falla de los equipos en un periodo de tiempo y consecuencias a los impactos que produce en la empresa, como pueden ser impacto medio ambiental, impacto de indisponibilidad, impacto social, etc.

A partir de lo anterior se procede a clasificar según el método ABC, basado en el principio de Pareto, el cual fija rangos de porcentajes y le asigna una letra, las cuales suelen ser A, B y C, siendo A la más crítica y C la menos crítica, dicha fijación de porcentajes se realiza respecto al valor máximo obtenido de la criticidad, lo que permite conocer a que categoría de riesgo pertenece cada equipo, dando paso a qué medidas tomar a los que influyen de mayor forma en el proceso productivo de la empresa.

2.6 GESTION DE REPUESTOS BASADO EN CONFIABILIDAD

La gestión de Repuestos centrada en Confiabilidad (RCC) o más conocida en inglés Reliability centered Spares (RCS), es un área que aún está en desarrollo, particularmente se considera que es la continuación de RCM2, donde el objetivo principal es asegurar stock de repuestos en base a los requerimientos reales de los equipos, manteniendo niveles de disponibilidad adecuados en referencia al impacto que produciría el no tenerlo.

Toda literatura referida a RCC carece de detalles suficientes sobre su implementación, esto se debe básicamente a que los autores se desenvuelven en el ámbito de la consultoría y no académico. A partir de lo anterior, solo se pueden encontrar artículos que se refieran a ésta, y diagramas que hacen alusión a este tema, los cuales se listan a continuación:

- i. Modelo de Jerarquización de repuestos
- ii. Determinación de la criticidad de componentes de una máquina o proceso tras un análisis RCM
- iii. RCC desarrollada por Ellman-Sueiro & Asociados

i. **MODELO DE JERARQUIZACIÓN DE REPUESTOS**

Esta metodología plantea la jerarquización de los repuestos a través de un análisis de criticidad cuantitativo, para la realización de este análisis el autor hace mención a la asignación de dos tipos de factores, la primera es en base a la frecuencia de fallas de la pieza o parte, y la segunda en base a las consecuencias, específicamente considera las consecuencias como la suma de los costos de producción, indisponibilidad, precio del repuesto y almacenamiento; con estos factores se apoya a través de una matriz de criticidad ver figura N° 4, en donde se aprecia que el eje de las abscisas posee las consecuencias y el eje de las ordenadas la frecuencia, siendo la intersección de ambos factores un nivel de criticidad. Este autor no hace mención en cuanto a las políticas de nivel de stock, por lo que se considera solo un modo de jerarquización de repuestos y no una metodología de RCC.

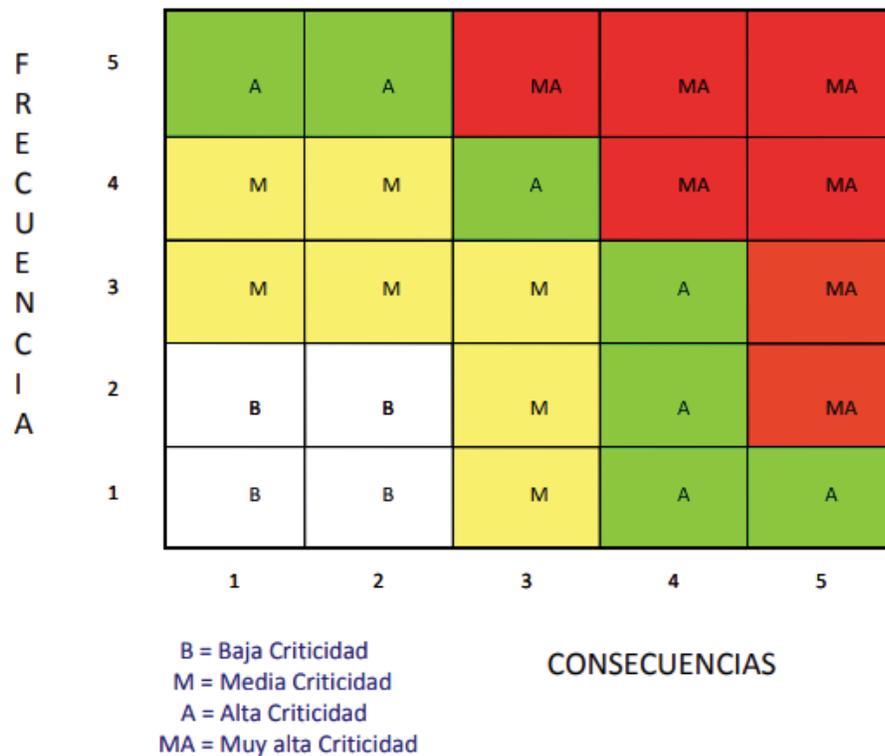


Figura N° 4: Matriz de criticidad

Fuente: (Parra, 2011) Recuperado de <https://bit.ly/2RXQZaL>

ii. **DETERMINACIÓN DE LA CRITICIDAD DE COMPONENTES DE UNA MAQUINA O PROCESO TRAS UN ANALISIS RCM**

Esta metodología plantea la jerarquización de los componentes a evaluar en base a un diagrama de decisión ver figura N° 5, es decir, un diagrama cualitativo de criticidad, en donde el objetivo principal es obtener 4 niveles de riesgo AA,A,B,C; siendo AA el más crítico y C el menos crítico, ya obtenida la clasificación de los componentes, el autor hace mención a realizar la combinación de los resultados obtenidos con una matriz que involucre factores de interés al momento de decidir una política de inventario, dentro de los cuales se pueden mencionar el precio del repuesto, plazo de suministro.

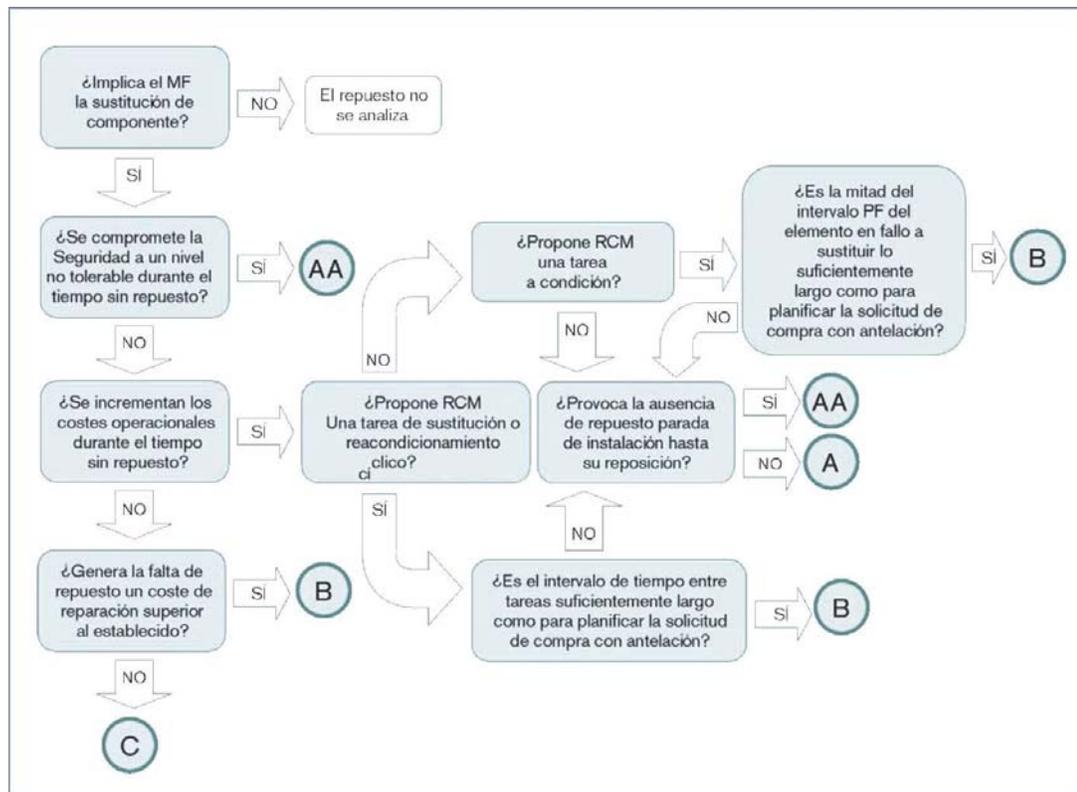


Figura N° 5: Diagrama de criticidad tras un análisis de RCM2

Fuente: (Verduga Jara, 2014) Recuperado de <https://bit.ly/2yJwiqj>

iii. **RCC POR ELLMAN-SUEIRO & ASOCIADOS**

Esta metodología hace mención a que la aplicación de este método está referida a repuestos con bajo índice de rotación, para ello considera la realización de 5 preguntas, las que se pueden ver a continuación:

1. ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento del equipo?
2. ¿Qué ocurre si no se dispone del repuesto?
3. ¿Es posible predecir la necesidad del repuesto?
4. ¿Qué inventario del repuesto es necesario?
5. ¿Qué ocurre si los requerimientos de mantenimiento no pueden ser cumplidos?

Para la primera pregunta se responde a través del mantenimiento centrado en confiabilidad, coincidiendo con que RCC es la continuación de RCM2. La segunda pregunta realiza una clasificación de los repuestos en base a cuatro categorías, según el tipo de consecuencia que abarca el no tener el repuesto. La tercera pregunta, está ligada a aquellos repuestos con intervalos de sustitución, es decir, aquellos que se puede anticipar la compra, además de los repuestos que tienen asociado algún tipo de tarea a condición permitiendo sustituir la pieza cuando la falla este por ocurrir. La cuarta pregunta relaciona las consecuencias obtenidas y le asigna una política de nivel de stock, ver figura N°6. Para la obtención de estos niveles de stock no se detalla más información. La quinta y última pregunta hace mención a la realización de un balance entre los costos generados por no tener el repuesto y el de mantener el repuesto en stock.

Sin lugar a duda esta metodología, involucra bastantes factores determinantes a la hora de decidir la cantidad de repuestos a tener, pero la información que se dispone de ésta es bastante baja, por lo que hace imposible su aplicación a la industria sin la colaboración de la consultora que la desarrollo.



Figura N° 6: Diagrama de decisión RCS

Fuente: (De Piño Brito, 2014) Recuperado de <http://predictiva21.com/editions/e2/index.html#p=46>

ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa en donde se desarrolla el tema propuesto es en un Puerto Multipropósito de Chile, a modo de salvaguardar la información de dicho Puerto se decide adoptar el nombre de Puerto WSA, como se mencionó anteriormente.

Debido a la larga extensión geográfica que posee Chile (se conforma de 57 puertos repartidos en las diferentes regiones del país), lo que se ve reflejado que el 80% del comercio exterior se realiza por vía marítima, considerando tanto importaciones como exportaciones de toda índole, siendo de vital importancia para el desarrollo de la economía propiamente tal del país.

Puerto WSA lleva en el rubro marítimo alrededor de 50 años, a través de los cuales ha ido creciendo y adaptándose a los requerimientos del mercado. Hoy en día ofrece a sus clientes una amplia variedad de servicios portuarios, dentro de los cuales se destaca:

1. Transferencia de gráneles sólidos y líquidos
2. Estiba y desestiba
3. Almacenaje
4. Atención de naves
5. Transporte terrestre

3.2 SERVICIOS OFRECIDOS POR PUERTO WSA

3.2.1 TRANSFERENCIA DE GRANELES SOLIDOS Y LIQUIDOS

El principal rubro a que se dedica Puerto WSA es la transferencia de gráneles, tanto sólidos como líquidos. Para hacer posible esto se debe disponer de la infraestructura adecuada, comenzando con el sitio de atraque acorde a la nave a disponer. (Los sitios de atraque nos indican el calado y la eslora máxima de la nave), ver figura N°7.

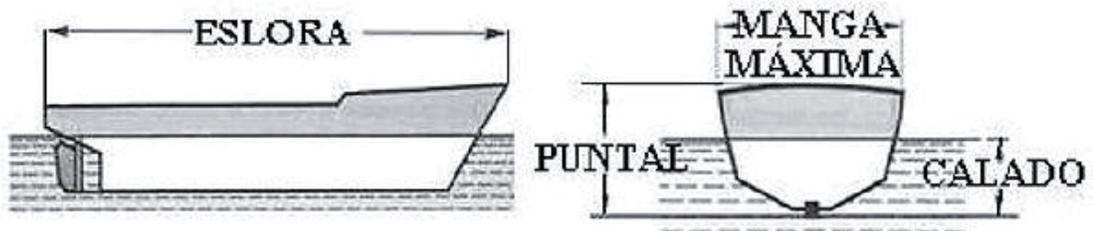


Figura N° 7: Eslora y calado de un buque

Fuente: (naut.blogcindario, 2014) Recuperado de <https://bit.ly/2RYk8mw>

Como se logra apreciar en la figura N°7, el calado es la altura del espacio ocupado por el buque dentro del agua y la eslora es la longitud máxima del buque trazada por los puntos más salientes.

Para gráneles sólidos se debe disponer de mecanismos que permitan la transferencia del granel, dentro de los cuales se destaca en esta área es el concentrado de cobre, carbón, Clinker, bauxita, entre otros; hay que tener claro que las propiedades de estos materiales son distintas, por lo que las condiciones de transferencia varían, al igual que los implementos a utilizar, a grandes rasgos se debe disponer de una grúa y un sistema de transferencia como lo puede ser correas transportadoras.

Para el caso de los gráneles líquidos, se puede encontrar con ácido, asfalto y diferentes tipos de combustibles, en donde se requiere la conexión de ductos a los estanques a almacenar, válvulas apropiadas con el fluido a trabajar, calentadores de los ductos en caso de ser necesario para facilitar la transferencia. Al igual que los gráneles sólidos los implementos varían según el fluido a transferir.

3.2.2 ESTIBA Y DESESTIBA

Para ser posible la transferencia de diversos tipos de carga no basta tener la infraestructura, además se requiere de las maniobras de estiba y desestiba. La estiba corresponde a la disposición de la carga en la embarcación, de manera tal de realizar la distribución acorde a los parámetros de seguridad y eficiencia establecidos.

La desestiba corresponde a disponer la carga en el buque de tal manera de facilitar las maniobras de desembarco, las cuales se ven reflejadas desde el buque hasta los lugares de acopio o según corresponda.

El no realizar estas maniobras de la manera adecuada puede tener consecuencias graves, principalmente se destacan la seguridad del personal y las del medio ambiente, logrando inclusive la detención de una parte importante de la empresa, ver figura N° 8.



Figura N° 8: Accidente portuario

Fuente: (algecirasalminuto, 2011) Recuperado de <https://bit.ly/2CrDv6W>

En la figura N° 8, se puede apreciar el impacto de la mala estiba o desestiba según corresponda y permite dimensionar todo el operativo que conlleva; afectando no tan solo a la productividad, sino también a la imagen de empresa que proyecta hacia sus clientes.

3.2.3 ALMACENAJE

En ciertos casos, para ofrecer un servicio acorde a lo que desea el cliente se requiere disponer de zonas de almacenaje, estas zonas pueden ser propiamente tal de Puerto WSA o de la empresa que solicita el servicio, sin lugar a duda es un parámetro que hace destacar ante otras empresas que se dedican a este rubro. Las características de la zona de almacenaje varían según los tipos de cargas que se emplean, esto permite que se decida si amerita un lugar abierto o cerrado, la cantidad de espacio, o si simplemente si se requiere implementar algún parámetro adicional de interés.



Figura N° 9: Deposito de gráneles sólidos

Fuente: (depositofrancobilbao, 2009) Recuperado de <http://www.depositofrancobilbao.com/solidos.html>

Como se aprecia en la figura N°9, se almacena granel de tipo sólido en un lugar cerrado, donde además se requiere de un cargador frontal para la óptima utilización del espacio.

3.2.4 ATENCIÓN DE NAVES

Puerto WSA dentro de los servicios ofrecidos a sus clientes se encuentra la atención de naves, producto de algún desperfecto que la tripulación del buque no pueda solucionar. Este servicio lo puede realizar propiamente tal como Puerto WSA o con alguna empresa asociada a ésta, dentro de los cuales se puede requerir servicio de remolque.

3.2.5 TRANSPORTE TERRESTRE

Esta empresa está en condiciones de realizar el transporte terrestre no tan solo vía carreteras, sino también vía ferrocarriles a través de su filial ferroviario, dentro de lo cual amplía la gama de opciones al ofrecer los servicios a sus clientes.



Figura N° 10: Ferrocarril de carga

Fuente: (lavidaesunahistoriarca, 2014) Recuperado de <https://bit.ly/2CQi4Zg>

Como se logra apreciar en la figura N° 10, una de las ventajas de transportar cargas a través de ferrocarriles, es la cantidad de toneladas en comparación con las que puede trasladar un camión normal de carga.

3.3 MAQUINARIA GENERICA EN PUERTOS MULTIPROPOSITO

La maquinaria adoptada por los diferentes tipos de puertos, depende principalmente de los materiales a transferir, ya sea container, gráneles sólidos o líquidos y de la capacidad de transferencia que se desee tener como empresa.

A partir de los factores mencionados toda empresa debe contar con maquinaria con la que cumpla sus requerimientos específicos, ya que los requerimientos técnicos de cada puerto varia uno de otro, y considerando lo anterior se profundizará en la maquinaria implementada por puerto WSA. Dentro de la amplia gama de equipos se destaca:

1. Maquinaria para transferencia de gráneles sólidos
2. Maquinaria para transferencia de gráneles líquidos

3.3.1 MAQUINARIA PARA TRANSFERENCIA DE GRÁNELES SOLIDOS

A modo general, la maquinaria básica que se puede encontrar en todo puerto de gráneles solidos es, grúa de tipo level luffing, palas graneleras, tolvas, correas transportadoras.

Grúa tipo level luffing: toda grúa tiene como finalidad la elevación de cargas suspendidas en el espacio a través de un gancho que se encuentra en el extremo, o a través de algún artefacto acorde a la maniobra a desempeñar. Puede ser de tipo fija o móvil a través de rieles, según sean las necesidades de la empresa. Específicamente la grúa tipo level luffing es aquella en la cual la carga continua a la misma elevación durante el movimiento de la pluma hacia adentro o hacia afuera.



Figura N° 11: Grúa level luffing

Fuente: (nauticexpo) Recuperado de <https://bit.ly/2EudvFO>

La figura N° 11, representa una grúa de tipo level luffing. Una grúa de este tipo se compone de bastantes elementos que trabajan de forma simultánea, con la finalidad de elevar la carga que se requiera. Sin lugar a duda el propósito de esto no es entrar en detalle a los elementos de la grúa, a modo de poder dimensionar los equipos y la complejidad con que se trabaja, se mencionará algunos de los elementos destacados como el sistema estructural, los cables, cabina de mando, reductores, motores eléctricos, sistema de freno, sistema plc, entre muchos otros.

Palas graneleras: en el extremo del sistema de cables de la grúa level luffing, se suele encontrar un gancho de izaje, en donde se monta la pala granelera, ver figura N°12, ésta es usada para agrupar el material a transferir, existen varios de palas gráneles dentro de las que se destacan están, las semi-automática, electrohidráulica y de golpe, la utilización de una u otra depende de diversos factores dentro de los cuales se pueden mencionar, capacidad de la grúa, densidad del material, presupuesto, etc.



Figura N° 12: Pala granelera

Fuente: (sigu) Recuperado de <http://www.sigu.cl/pala-almeja.html>

Tolvas: las tolvas son utilizadas para recibir el material proveniente de la pala granelera, en donde es posible cargar en camiones, correas transportadoras o en algún otro tipo de sistema utilizado para ello. Pueden ser tipo fijo o móvil, ver figura N° 13.



Figura N° 13: Tolva granelera

Fuente: (solmarineoffshore) Recuperado de <http://www.solmarineoffshore.com/servicios.html>

Correas transportadoras: este sistema es implementado para el transporte continuo de materias primas a través de una banda o correa unida entre dos tambores, la cual es arrastrada por fricción por uno de ellos. Se compone de elementos como rodillos, una correa o banda, tambores, reductor, motor eléctrico, variador de frecuencia, entre otros elementos, ver figura N° 14.



Figura N° 14: Correa Transportadora

Fuente: (tek-arg) Recuperado de <http://www.tek-arg.com/>

3.3.2 MAQUINARIA PARA TRANSFERENCIA DE GRÁNELES LÍQUIDOS

Para la transferencia de granel líquido, a modo general se debe disponer de una fosa de bombas, circuito de tuberías.

Fosa de bombas: acá se puede encontrar las respectivas bombas con las que es posible transferir el fluido desde el barco a un sistema de almacenamiento o viceversa a través del circuito de tuberías. Las bombas a utilizar variarían según las especificaciones del fluido a transferir, ver figura N° 15.



Figura N° 15: Sala de Bombas centrifugas

Fuente: (directindustry) Recuperado de <http://www.directindustry.es/prod/friatec/product-13872-692923.html>

Circuito de tuberías: el circuito de tuberías es una red de ductos que une el estanque de almacenamiento con el barco, los diámetros de las tuberías tiene relación al fluido a transferir. Esta red contempla el uso de válvulas en diversos tramos de ésta, al igual que los respectivos compensadores de dilatación lineal, ver figura N° 16.



Figura N° 16: Circuito de Tuberías

Fuente: (alvaradoyduring) Recuperado de <https://bit.ly/2J21Jkq>

MODELO PROPUESTO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrolló la propuesta de “MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA DE REPUESTOS BASADA EN LA CONFIABILIDAD”, realizada para Puerto WSA. Esta metodología tuvo como objetivo principal determinar los elementos o piezas que son requeridas para la modalidad de mantenimiento Proactivo adoptado por esta empresa, para ello se necesitó establecer cuáles de éstos son necesarios mantenerlos en bodega, culminando con la estimación de stocks de seguridad necesarios para mantener un nivel de disponibilidad acorde a lo que se desea en base al impacto de indisponibilidad que produce el no tener el repuesto en bodega.

Esta propuesta nació de la necesidad de actualizar y establecer un método en la estimación de stock de repuestos para el área de mantención, en donde la estimación actual de repuestos críticos se realizaba a través de la experiencia de las personas, la cual puede ser acertada o no; sin lugar a duda es un método bastante ortodoxo y funcional para una modalidad de mantención correctiva o preventiva, la cual fue el caso de Puerto WSA. La actualización de la modalidad de mantención a mantenimiento Proactivo conllevó el desarrollo de una nueva metodología de la determinación de stock de repuestos, la cual es la finalidad de este trabajo.

4.2 CONSIDERACIONES DEL MODELO

Repuestos centrado en confiabilidad, es la continuación de RCM2, por lo que se complementó directamente con las herramientas utilizadas en el desarrollo de éste, cuando aparezca alguna referencia de nivel, se ligará directamente a los niveles provenientes de la norma ISO 14224, en particular a la taxonomía AJAP descrita en la sección 2.3.

El desarrollo de este modelamiento contempló el análisis de elementos o piezas de forma individual, es decir, si existen 2 elementos o piezas que posean similares características técnicas, los respectivos análisis se realizaron de manera independiente uno de otro.

RCM2 acotó el universo de elementos o equipos nivel 8, a través, de un análisis de criticidad, analizando solo los elementos o equipos de categoría A y B siendo los críticos e importantes respectivamente, descartando de todo análisis los de categoría C correspondientes a los comunes, los cuales en caso de fallo no repercuten de gran forma en la empresa. Estos elementos o equipos continuaron con un mantenimiento correctivo, y se descartan del modelo de repuestos a proponer.

El área de abastecimiento de esta empresa solicitó a mantención la estimación de stock de repuestos a aquellos que son considerados críticos, y a partir de estos datos el área de abastecimiento trabajó bajo una política de stock de revisión continua, específicamente con el modelo denominado dientes de sierra, ver figura N° 17.

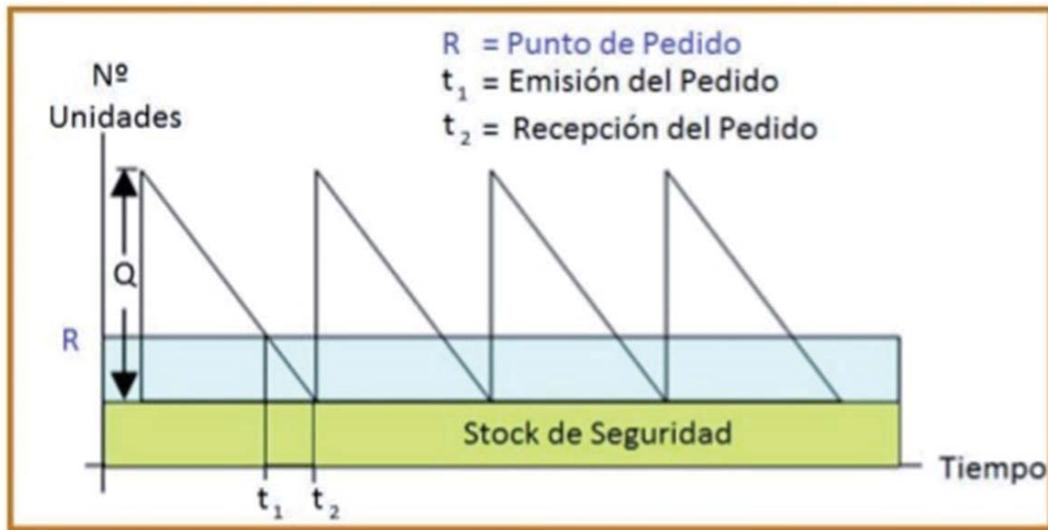


Figura N° 17: Diagrama dientes de sierra

Fuente: (slideshare, 2015) Recuperado de <https://bit.ly/2NLggBP>

La figura N° 17, representa básicamente el modelo que sigue el área de abastecimiento, en donde Q representa la cantidad de unidades por pedido, la franja verde al stock de seguridad, además de apreciar el punto de emisión y recepción del pedido.

Para el desarrollo del modelamiento propuesto se toma como premisa determinar el stock de seguridad, trabajado desde el área de mantención. Con ello el área de abastecimiento puede realizar el denominado modelo dientes de sierra, a partir de diversos factores que consideren relevantes, dentro de los cuales es posible destacar, el precio de las unidades a mantener en bodega, disponibilidad de espacio, mantenibilidad de los repuestos, entre otros.

4.3 DESARROLLO DEL MODELO

A continuación se da a conocer el diagrama de flujo propuesto para el modelo de gestión de repuestos, figura N° 18.

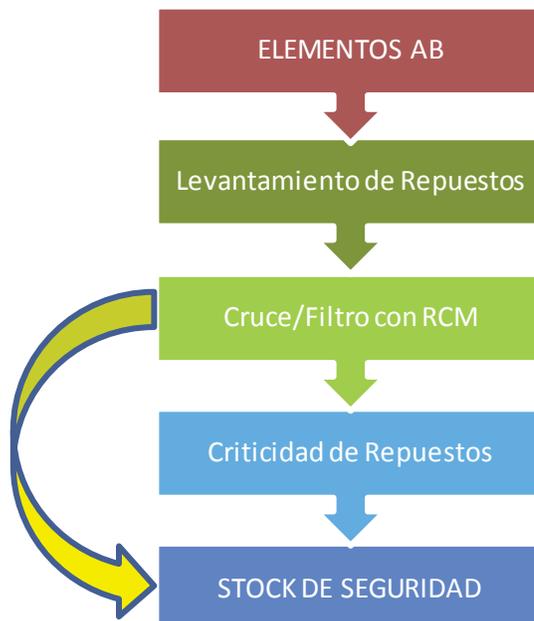


Figura N° 18: Diagrama de flujo Repuestos centrados en Confiabilidad

Fuente Elaboración Propia

A partir del diagrama que se representó en la figura N° 18, se identifican 5 etapas para llevar a cabo el modelamiento propuesto, las cuales se describen a continuación.

1. ELEMENTOS A y B
2. LEVANTAMIENTO DE REPUESTOS
3. CRUCE/FILTRO CON RCM
4. CRITICIDAD DE REPUESTOS
5. STOCK DE SEGURIDAD

4.3.1 ELEMENTOS A y B

La finalidad de este apartado es establecer la entrada del modelamiento, cabe recordar que este modelo es la continuación de un proceso, en donde se realizó la actualización de la modalidad de mantención a mantenimiento proactivo. A partir de lo anterior, se decidió tomar la herramienta de Análisis de criticidad (ADC) ya realizada en ésta actualización, del cual se consideraron los elementos (nivel 8) A y B, siendo los críticos e importantes, descartando los elementos de categoría C, que se mantienen en un mantenimiento de tipo correctivo. El ADC puede ser de tipo cuantitativo o cualitativo, ver sección 2.5.

4.3.2 LEVANTAMIENTO DE REPUESTOS

Al conocer la entrada del modelamiento, es posible comenzar la segunda fase, en simples palabras consistió en identificar los repuestos que son necesarios para cubrir los requerimientos de mantención, cabe resaltar que para este modelamiento se llamará repuestos a cualquier elemento o pieza, Nivel N° 8 y 9 respectivamente, que se sustituya por el área de mantención de PUERTO WSA, excluyendo de esta identificación aquellos elementos o piezas que sean aportados por un tercero al momento de realizar la mantención respectiva. Para hacer posible lo anterior, lo primero a realizar fue una clasificación de los Elementos A y B, para ello se hará una clasificación en tres categorías, ver figura N° 19.

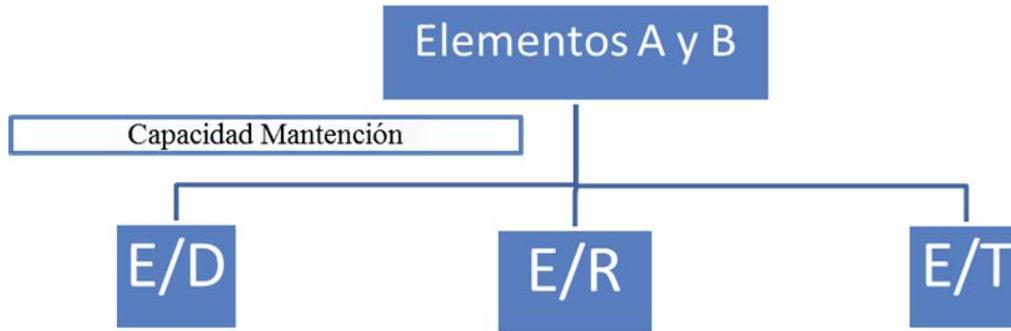


Figura N° 19: Diagrama de clasificación de elementos

Fuente: Elaboración Propia

En figura N°19, es posible observar el diagrama de clasificación de elementos, en donde se dio conocer la respectiva clasificación de los elementos A y B en base a la capacidad del área de mantención, las clasificaciones son las siguientes.

- i. E/D: Elementos que requieren despiece
 - ii. E/R: Elementos considerados repuestos automáticamente
 - iii. E/T: Elementos tercerizados
-
- i. Elementos que requieren despiece: este tipo de elementos son los que interviene el equipo de mantención, en donde producto de una falla funcional requiere el desarme e intercambio de piezas o partes (nivel 9) para volver a la funcionalidad del elemento o equipo (nivel 8).
 - ii. Elementos considerados repuestos automáticamente: en esta clasificación se encuentra todo elemento en donde producto de una falla funcional, sea sustituido sin previo desarme, por lo que se sustituye por uno nuevo o reacondicionado, es decir el elemento se considera un repuesto.
 - iii. Elementos tercerizados: para esta clasificación de elementos se considera que el equipo de mantención no interviene directamente en el elemento, es decir, se

terceriza la mantención en su totalidad, incluyendo la gama de repuestos que puedan necesitar en el desarrollo del trabajo en base a los requerimientos establecidos por la empresa. A partir de lo mencionado este tipo de elementos no se considera un repuesto y por ende en caso de producirse una falla funcional no requiere un desarme e intercambio de piezas por parte directa de la empresa. Esta clasificación tiene la particularidad de que la empresa mandante no mantenga stock de repuestos en bodega.

Para hacer posible este tipo clasificación, en base a la capacidad que posea el área de mantención se debió formar un equipo natural de trabajo, que involucró personas del área de mantención que están en contacto con el elemento a analizar, a modo de establecer la correcta clasificación del elemento, se dispone de un diagrama cualitativo a trabajar con el grupo natural de trabajo, ver figura N° 20.

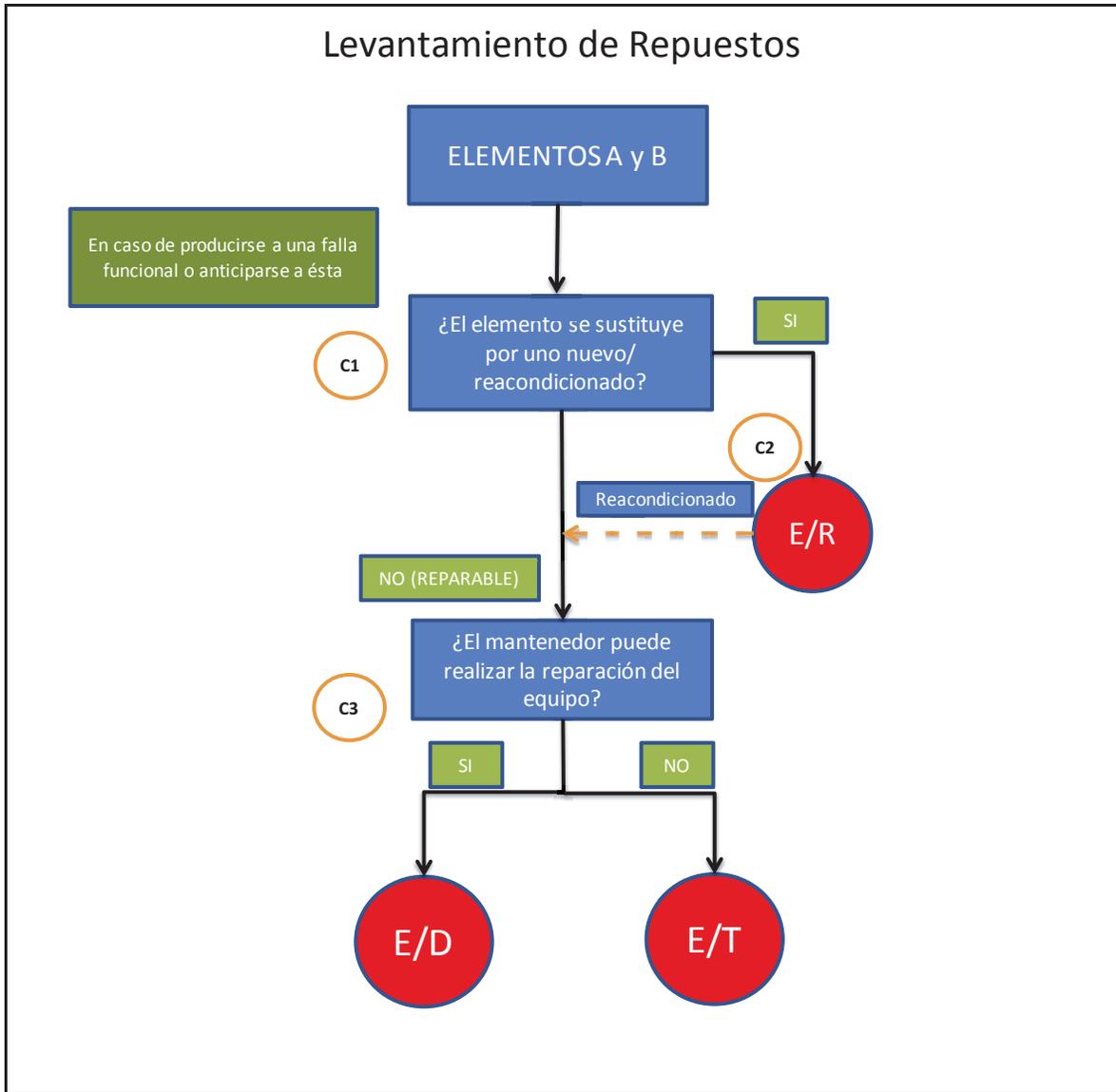


Figura N° 20: Diagrama de decisión clasificación de elementos

Fuente: Elaboración Propia

En el figura N° 20, se pudo apreciar que el diagrama de decisión clasificación de elementos, consta de 2 preguntas, denominadas por C1 y C3, pero además se agregó C2 para contextualizar en que caso un elemento considerado repuesto vuelve al análisis del diagrama.

Este diagrama es de tipo cualitativo y las posibles respuestas son SI o NO, para asegurar la óptima utilización de éste se desarrollaran las preguntas a modo de dar a conocer el contexto en que se trabaja cada una de ellas.

C1. ¿El elemento se sustituye por uno nuevo o reacondicionado?

La pregunta cómo se puede apreciar, es bastante simple, la finalidad de ésta es dar inicio a determinar la acción a seguir por parte del departamento de mantención en cuanto si el elemento o equipo se sustituye automáticamente, sin realizar un desarme de éste para volver a la funcionalidad del elemento. Puede darse el caso en que dependiendo de la avería del elemento la respuesta pueda ser SI o NO, en base a la severidad de la falla funcional, para todo este tipo de casos la respuesta adecuada es “NO”.

C2. E/R que vuelve al análisis del diagrama

A partir de C1 se da a conocer si el equipo se sustituye automáticamente o no, para realizar esta sustitución se debe contar con un elemento nuevo o reacondicionado, el elemento nuevo se considera repuesto y pasa automáticamente a los análisis siguientes del modelamiento, para el caso del elemento reacondicionado se considera un repuesto al igual que un elemento nuevo, pero a la vez es necesario determinar si el reacondicionamiento lo realiza el área de mantención o se terceriza, por ende vuelve al análisis del diagrama de decisión.

C3. ¿El mantenedor puede realizar la reparación del equipo?

Esta pregunta proviene de C1 cuya respuesta es NO, en donde se agregan los elementos reacondicionados, en primera instancia esta pregunta podría parecer muy general, pero lo que busca es determinar si se tienen las condiciones para intervenir el equipo, algunos de los factores determinantes a la hora de decidir es la capacidad humana, en cuanto a cantidad de personal, conocimiento del personal, herramientas a utilizar, tiempo a emplear y cualquier factor que se encuentre determinante a la hora de decidir. En el caso de que el mantenedor pueda realizar intervenciones puntuales, en donde se duda si la respuesta es SI o NO, lo adecuado es responder con SI, es decir, el elemento pasa a la categoría E/D requiriendo un despiece de éste. Para el caso en que C3 sea NO, el elemento pasa a la categoría E/T, con lo cual se terceriza la reparación y los repuestos que puedan requerirse.

Las posibles combinaciones que se pueden obtener del diagrama de decisión de clasificación de elementos, se muestran en la tabla N° 1, en donde S indica SI y N indica NO, en caso de ser un elemento reacondicionado en C2 se utiliza una R.

TABLA CLASIFICACIÓN			
C1	C2	C3	Resultado
S			E/R
S	R	S	E/R-E/D
S	R	N	E/R-R/T
N		S	E/D
N		N	E/T

Tabla N° 1: Combinaciones de clasificación de elementos

Fuente Elaboración Propia

En base a lo anterior, es posible clasificar los elementos con la ayuda del Diagrama de decisión clasificación de elementos, ver figura N° 20. Permitiendo conocer cuáles de éstos se considerarán repuestos (E/R), pasando directamente a la etapa 3 del modelamiento, por otra parte los que se deban tercerizar (E/T) se descartan automáticamente, ya que no son considerados repuestos y por último los que requieren un despiece (E/D), continúan en esta etapa de levantamiento de repuestos.

A continuación el paso a seguir se representa en la figura N° 21.

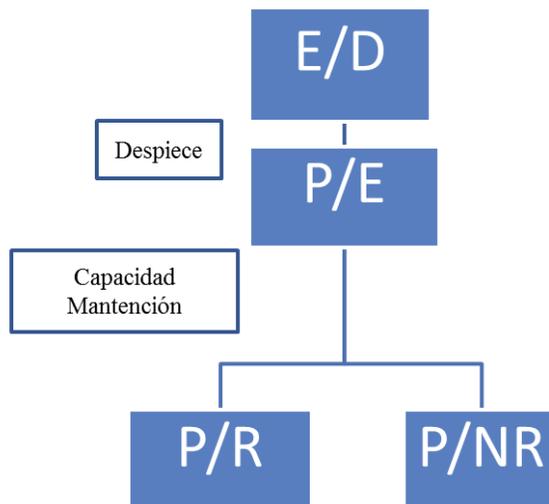


Figura N° 21: Diagrama general clasificación de piezas

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 21, se apreció los pasos a seguir a partir E/D (elementos que requieren despiece), en donde pasa a P/E, siendo P/E las piezas o partes provenientes de un despiece realizado a un elemento de la categoría E/D, es decir, identificar el nivel N° 9 del AJAP, en caso que no se tenga este nivel se deberá realizar, como es el caso en específico de Puerto WSA, que desarrolló el AJAP hasta el nivel 8, esto se puede llevar a cabo principalmente a través de catálogos o contacto con el proveedor. Luego de obtener P/E nivel N° 9 del AJAP, se procedió a clasificar las piezas en P/R y P/NR, siendo P/R aquellas piezas o partes que se reemplazaran por el equipo de mantención en caso de producirse o anticiparse a una falla funcional y P/NR aquellas piezas o partes que no son consideradas repuestos, para ésta última es necesario establecer qué medidas tomar en caso de producirse o anticiparse a una falla funcional. Para poder realizar la clasificación anterior en base a la capacidad de mantención se dispuso de un diagrama de decisión de clasificación de piezas ver figura N° 22, aquellas piezas clasificadas en P/R pasan directamente a los siguientes análisis de este modelamiento, por el contrario a las piezas clasificadas en P/NR se determina si es necesario reemplazar el elemento, o si simplemente se terceriza su mantención y respectivo reemplazo de la pieza o parte.

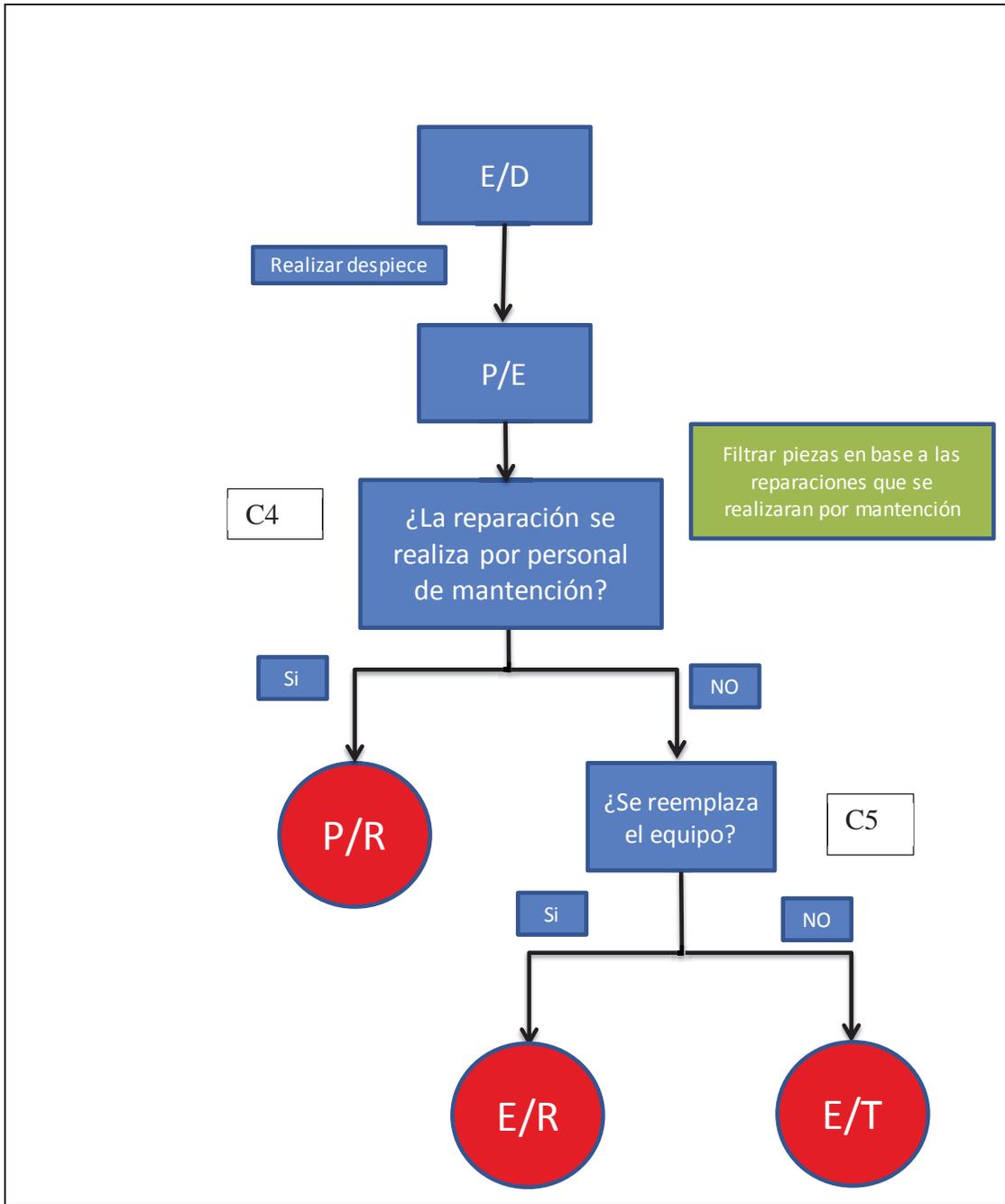


Figura N° 22: Diagrama de decisión clasificación de piezas

Fuente: Elaboración Propia

Para la figura N° 22, se identificaron 2 preguntas C4, C5, donde las posibles respuestas pueden SI o NO, el objetivo principal es identificar las piezas que se considerarán repuestos, trabajando siempre desde la premisa que repuesto es todo elemento o pieza que será sustituida por el equipo de mantenimiento de la empresa, a continuación se desarrollan las

preguntas del diagrama de decisión clasificación de piezas a modo de contextualizar el modo de aplicación.

C4 ¿La reparación se realiza por personal de mantención?

Considerar que esta pregunta se realiza a cada pieza o parte (P/E) del elemento a analizar, en el caso que la respuesta sea SI, la pieza pasa a ser considerada un repuesto, lo que quiere decir, que el equipo de mantención posee la suficiente cantidad y capacidad humana de realizarla, además de las herramientas respectivas que se requieran para dicha labor. En caso de que no se tenga la capacidad de realizarla por el equipo de mantención pasa a la pregunta C5.

C5 ¿Se reemplaza el elemento o equipo? (C5)

El no tener la capacidad de sustituir la pieza, independiente de las razones del porque el área de mantención no puede, implica que se debe establecer los pasos a seguir en caso de que ocurra un fallo funcional del elemento en el que se encuentra involucrada la pieza, lo primero a decidir es, si se reemplaza el equipo, en caso de que la respuesta sea SI, la falla funcional de la pieza amerita que se sustituya el elemento, es decir, el elemento se considera un repuesto. En caso de que no se realice reemplazo del equipo, se debe tercerizar el servicio de mantención, debido a que no se posee la capacidad para sustituirlo.

Con la ayuda del diagrama de decisión de clasificación de elementos y diagrama de decisión de clasificación de piezas, figura N° 21 y 22 respectivamente, es posible identificar los requerimientos reales de repuestos para el área de mantención, pero esto no queda acá, se debe completar la información del repuesto, a modo de terminar la etapa de levantamiento de repuestos, los parámetros que se destacan a identificar son los siguientes:

1. Nombre del repuesto
2. Código
3. Código SAP

4. Proveedor
5. Tiempo de entrega del repuesto:
6. Precio
7. Características.

4.3.3 CRUCE/FILTRO CON RCM

RCM2 propone tareas de sustitución o reacondicionamiento cíclico y tareas a condición, en base a los distintos modos de falla que puedan afectar al elemento y a las partes del elemento nivel 8 y 9 respectivamente, se pueden identificar 2 tipos de curvas, las cuales se ligan directamente a las tareas a definir por RCM2, ver figura N° 23 y 24.

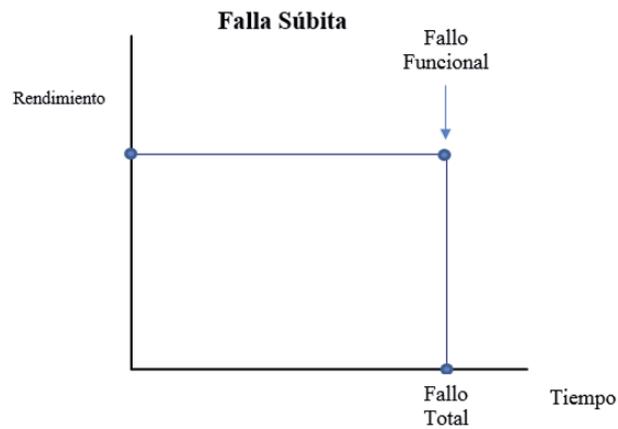


Figura N° 23: Curva Falla súbita

Fuente: (Medina, 2016) Recuperado de <https://bit.ly/2Co7ibK>

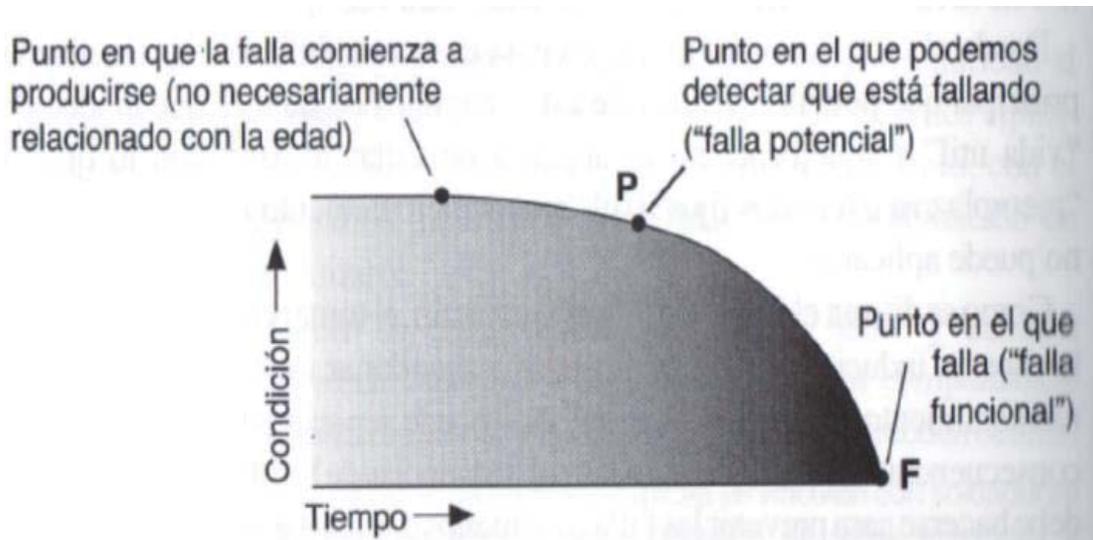


Figura N° 24: Curva P-F

Fuente: (Moubray, 2004)

En la figura N° 23, se logró apreciar la curva de falla súbita que puede afectar a las piezas del elemento, RCM2.

Para este tipo de curva se propone las tareas de sustitución cíclica, en donde se establecen frecuencias de sustitución, por lo que se descartaron del modelamiento debido a que no ameritan mayor estudio establecer niveles de stock en base a las frecuencias de sustitución.

Por otra parte la figura N° 24, muestra la curva P-F, en la cual se representó el punto de comienzo de la falla, el punto en el cual es posible detectar la falla potencial y por último el punto donde se produce la falla funcional. Esta curva, a partir de los puntos que se representan, permite inferir que es viable anticiparse a la falla funcional del elemento, esto es posible a través de tareas a condición, algunas de estas tareas que se destacan son el análisis de vibraciones, termografías, etc. Específicamente se consideraran este tipo de modo de falla en la continuación del modelamiento.

Particularmente Puerto WSA, implementó RCM2 familia de elementos, lo que quiere decir que tomó un grupo de elementos con similares características, y aplicó RCM2. A modo de

ejemplo se puede realizar a una familia de reductores, las piezas que componen un reductor son prácticamente las mismas, siendo un caso genérico que se puede aplicar a todos los elementos que entren dentro de esta familia.

Debido a lo anterior el primer paso a considerar, fue realizar un cruce de los repuestos que identificamos en la fase 2 del modelamiento con RCM2, a modo de encontrar los distintos modos de fallo que afectan a los elementos y piezas con las tareas a condición que nos permiten anticiparnos a la falla funcional.

Con la realización del cruce, podemos identificar las tareas a condición que están involucradas las piezas que consideramos repuestos, con esto es posible identificar el intervalo de fallo potencial, conocido por IFP como se puede apreciar en la figura N°25.

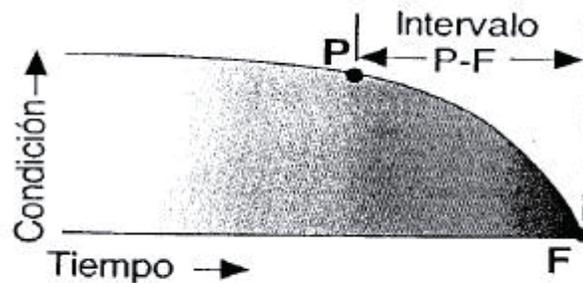


Figura 7.2: El intervalo P-F

Figura N° 25: Intervalo fallo potencial, IFP

Fuente: (Moubray, 2004)

El intervalo de fallo potencial, fue posible identificarlo a través de las diversas tareas predictivas que RCM2 asocia a los modos de fallo. Es por esta razón que debe ser realizada por personal capacitado en el tema y que se encuentre en condiciones de establecer un periodo de tiempo que se anticipe a la falla funcional. Las piezas a analizar poseen más de un modo de fallo, por lo que a cada modo de fallo se puede obtener un IPF distinto. Lo importante es tener registro de ello y considerar el IPF menor entre los distintos modos de falla posibles para la pieza o elemento en análisis. Lo anterior está referido a que cada

modo de falla tiene asociada una o más tareas a condición, lo que implica el uso de técnicas más sofisticadas en la determinación del IFP, ampliando este intervalo a determinar. En la figura N° 26 se da a conocer como varia el IFP a partir de las tareas predictivas asociadas.

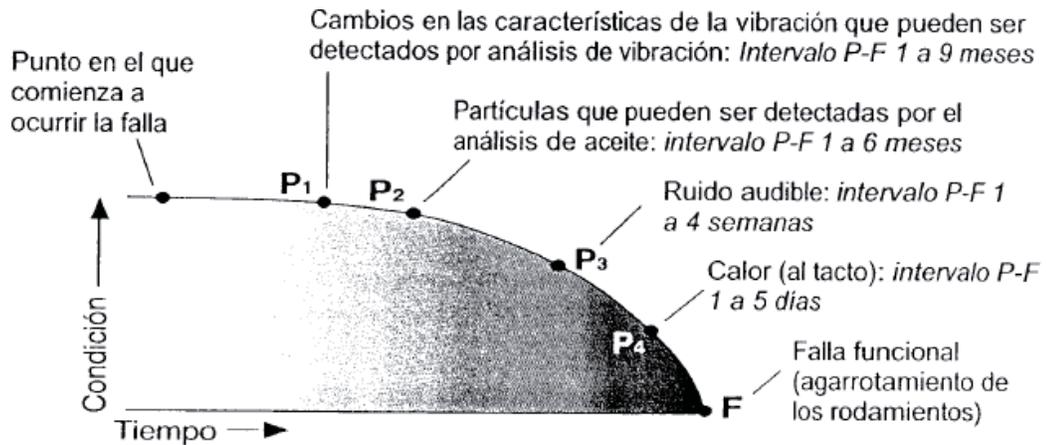


Figura N° 26: Diferentes fallas potenciales que pueden preceder a un modo de falla

Fuente: (Moubray, 2004)

RCM2 propone diversas tareas predictivas, pero además establece la frecuencia de tiempo en que deben realizarse. Al considerar esto puede darse el caso en que el punto de falla potencial sea detectable inmediatamente después de realizar la tarea predictiva. Esto implica que dicho punto será detectado en el siguiente periodo de tiempo que establece la frecuencia de la tarea asignada. A partir de lo anterior el tiempo real de anticipación a una falla potencial corresponde al IFP menos la frecuencia de la tarea asignada, lo que se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{IFP NETO: IFP- FRECUENCIA DE INSPECCIÓN}$$

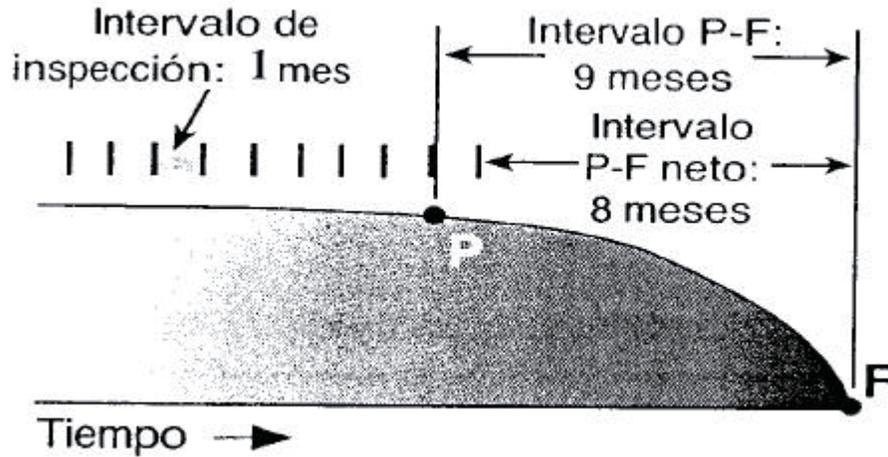


Figura N° 27: Intervalo fallo potencial Neto, IFP Neto

Fuente: (Moubray, 2004)

El siguiente paso realizado es una comparación entre los IPF Neto menor de los elementos o piezas, (dependiendo de lo que se esté analizando) y compararlo con el tiempo de entrega correspondiente del repuesto. Este tiempo de entrega debió contemplar los tiempos administrativos que conllevan la compra del repuesto y el respectivo tiempo de traslado hasta las instalaciones donde se requiera. A partir de ello fue posible establecer acciones a los elementos o piezas en análisis, ver figura N° 28.



Figura N° 28: Repuestos con modalidad JIT o ADC

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 28, se muestran 2 inecuaciones, en el primer caso, cuando el IFP Neto es mayor al tiempo de entrega del repuesto, se estableció que el repuesto se puede comprar en el momento que se requiere, o planificarse de tal manera que cuando se requiera se encuentre disponible. A partir de anterior, es posible trabajar este tipo de repuestos con política de reposición denominada just in time. En el segundo caso donde el IFP Neto es menor al tiempo de entrega, y nos indica que aunque exista la posibilidad de anticiparse a la falla funcional, no se alcanza a realizar la compra del repuesto que es requerido, por lo que se debió analizar la forma más adecuada de definir los respectivos niveles de stock en bodega, ante lo cual el modelamiento considera un análisis de criticidad.

Para facilitar la clasificación de repuestos en modalidad just in time o criticidad de repuestos, se procedió a definir la siguiente expresión:

$$\text{Ratio de ADC: } \frac{\text{IFP NETO}}{\text{TIEMPO DE ENTREGA}}$$

Cuando el Ratio de ADC sea mayor a 1, el elemento o pieza de análisis se trabaja con modalidad just in time y para aquellos en que el Ratio de ADC sea menor o igual 1 continua a la siguiente etapa de análisis de criticidad.

4.3.4 ANALISIS DE CRITICIDAD

En esta fase se buscó otorgar un nivel de criticidad a los repuestos con IFP menor al tiempo de entrega del repuesto, para ello se decidió adoptar un análisis de tipo cuantitativo, a modo de facilitar la aplicación y al mismo tiempo obtener valores con mayor respaldo al momento de decidir. Por ello se consideró la formula universal de criticidad:

$$\text{Criticidad: Ocurrencia*Consecuencias}$$

En donde la ocurrencia corresponde a un factor frecuencia de fallas, para obtener éste factor el equipo de confiabilidad de la empresa debe acordar tabular en base a la cantidad de fallas un factor que sea coherente con los parámetros a evaluar.

Para las consecuencias se consideró una única consecuencia tomando como gran enfoque el de mantención, considerando el costo de pérdida por falta de repuesto. Esto correspondió al costo de indisponibilidad hora por la cantidad de horas de entrega del repuesto, siendo el caso más drástico donde el elemento pierde toda función, por ende el elemento queda totalmente inoperativo. Para ello, al igual que en la ocurrencia, se asignaron factores acorde a rangos por costo pérdida por falta de repuesto.

Este procedimiento debió ser realizado por personal del área de confiabilidad, el cual debe poseer la suficiente capacidad de otorgar factores en base a la información que se tenga, la cantidad de factores a tabular depende del nivel de precisión que se desee tener.

Ya definidos los factores utilizados en la criticidad y con apoyo de la herramienta EXCEL, se facilitó el cálculo de criticidad para la gama de repuestos determinados en las fases anteriores de este modelamiento. El resultado a obtener es un dígito, el cual se clasificó según el método ABC, donde se obtuvieron 3 categorías de riesgo A, B y C, en donde A es la más crítica, B es considerada importante y C es considerado común, para hacer posible esto, fue necesario asignar rangos para definir a cual pertenece cada categoría de riesgo. Estos valores pueden variar entre una empresa u otra, pero se suelen asignar en base a Pareto, en donde el 20% más alto del nivel de riesgo corresponde a una clasificación A, el 80% restante se reparte entre la clasificación B y C, de la cual el 30% más bajo del nivel de riesgo se considera dentro de la clasificación C, por lo que en la categoría B entrarían aquellos repuestos que se encuentren igual o sobre el 30% más bajo hasta el 80% respectivo, abarcando un total de 50% en base al nivel de riesgo, ver tabla N° 2.

ESTRUCTURACIÓN MÉTODO ABC-PARETO		
A	B	C
20%	50%	30%

Tabla N° 2: Niveles de criticidad

Fuente: Elaboración propia

A partir de las categorías de riesgo definidas, fue posible establecer un nivel de servicio para cada una de ellas, en base a los requerimientos que se desee satisfacer como empresa.

El nivel de servicio está referido a la cantidad de veces que como empresa se espera satisfacer la demanda de repuestos. A medida que la criticidad de un repuesto es mayor, se asignan mayores niveles de servicio, debido a que repercusiones en la empresa son mayores, cabe mencionar que satisfacer mayores niveles de servicio, implican mayores costos, lo cual se ve reflejado en la cantidad de unidades en bodegas, el espacio de ocupa, el transporte, etc. Ver figura N° 29.



Figura N° 29: Curva Costo-Nivel de servicio

Fuente: (Torres Rabello, 2010) Recuperado de <http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=549>

4.3.5 STOCK DE SEGURIDAD DE REPUESTOS

Para aquellos repuestos con IFP mayor al tiempo de entrega se consideró que no es necesario mantener stock de repuestos en bodega, debido a que es posible prever cuándo ocurrirá la falla y por ende programar correctamente el pedido de repuestos a utilizar, como se mencionó anteriormente este tipo de repuestos trabaja bajo la modalidad de just in time.

Para el caso en que los IFP son menores al tiempo de entrega del repuesto, es necesario determinar la cantidad de stock a mantener. Como se mencionó en las consideraciones de este modelamiento el área de abastecimiento de Puerto WSA trabaja bajo una política de stock de revisión continua, con el denominado modelo dientes de sierra, en donde el área

de mantención proporciona el stock de seguridad que debe cumplir cada repuesto crítico en base a la experiencia de los trabajadores. A partir de lo anterior, lo que se requirió fue determinar y establecer un procedimiento en el cálculo stock de seguridad de repuestos. Para ello, lo primero a considerar fue el IFP Neto es menor al tiempo de entrega del repuesto, por lo que en caso de producirse una falla funcional, el elemento quedaría inoperativo, es decir, el stock de seguridad debe contemplar al menos 1 unidad.

Las formas de cálculo de stock de seguridad que se pueden encontrar están basadas en una demanda de repuestos tipo fija, promedio, futura y a la variabilidad de la demanda. Ninguna siendo aplicable a este modelamiento, por ello se decidió adoptar la política de stock de repuestos de revisión continua (S-1, S) en el cálculo de stock de seguridad. Este tipo de política es de carácter de reposición uno por uno, es decir, al momento de utilizar un repuesto automáticamente se realiza un pedido, se basa en determinar un nivel de stock el cual se denomina S-1 y se le suma una unidad al valor calculado, representado por S. Al aplicar esta política de stock en el cálculo de stock de seguridad, se elimina la reposición automática del repuesto al momento de ser utilizado, por lo que S es el stock de seguridad a notificar al área de abastecimiento.

Este modo se seleccionó con la finalidad de establecer la mínima cantidad de repuestos en stock, sin descuidar los niveles de servicio adoptados por la empresa. Otra de las variables decisivas en la selección de esta política se basa en el desconocimiento de los tipos de repuestos a evaluar, siendo posible encontrar repuestos de tipo de baja rotación, los cuales se caracterizan por un alto precio de compra, baja probabilidad de uso, demanda impredecible, extensos tiempos de entrega, etc.

En esta política se debió determinar S-1, lo cual fue realizado basándose en la distribución de Poisson acumulada. Esto es posible usando pequeña cantidad de información. Esta distribución trabaja en base a eventos aleatorios e independientes entre sí en un tiempo determinado, la distribución está dada por:

$$P_x(t) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

$P_x(t)$ = Probabilidad de que ocurra un evento en el tiempo (t)

λ = Frecuencia de fallas

t = Tiempo de entrega del repuesto

x = cantidad de eventos (0,1,2,3...) que ocurren en un tiempo (t)

e = Numero de Euler 2.71828182846

Para aplicar la distribución de Poisson, basta con conocer la frecuencia de falla y el tiempo de entrega del repuesto. Este método permite estimar la cantidad de eventos (fallas funcionales) durante lo que demora la entrega del repuesto; para decidir cuantos repuestos se requieren se debió comparar la probabilidad acumulada con el nivel de servicio adoptado según a la clasificación de criticidad del repuesto en análisis. Para finalizar, la obtención de la cantidad de stock de seguridad a considerar, al valor obtenido se le suma 1 unidad debido a que se trabaja bajo la política de nivel de stock S-1, S. Como se mencionó en las consideraciones de este modelamiento el valor obtenido de S, se informa al área de abastecimiento de la empresa pudiendo definir la cantidad de stock a mantener en bodega.

CASO DE APLICACIÓN

En este capítulo se desarrolló un caso simulado a partir de los datos facilitados por la empresa WSA, cabe mencionar que los datos a trabajar fueron modificados con motivo de salvaguardar la información correspondiente a dicha empresa.

Para comenzar se siguió el diagrama de flujo propuesto por este modelo en la sección 4.3, por lo que el caso simulado se divide en 5 etapas fundamentales:

1. ELEMENTOS A y B
2. LEVANTAMIENTO DE REPUESTOS
3. CRUCE/FILTRO CON RCM
4. CRITICIDAD DE REPUESTOS
5. STOCK DE SEGURIDAD

5.1 ELEMENTOS A y B

Como se mencionó en la sección 4.3.1, lo primero es identificar el Análisis de criticidad a los elementos nivel 8, para este caso en específico se hará con un ADC de tipo cuantitativo referido a la línea de descarga de gráneles.

En este tipo de archivos se puede encontrar información general como se aprecia en las tablas N° 3 y 4, y figura N° 30.

Elementos	Criticidad del Elemento	Clasificación Criticidad	Importancia Criticidad
ACOPLAMIENTO ALTA DE GRILLA C-52	C	COMÚN	BAJA
ACOPLAMIENTO BAJA DE GRILLA C-52	C	COMÚN	BAJA
BASTIDOR/PLACA BASE UNIDAD MOTRIZ C-52	C	COMÚN	BAJA
CHUTE DE DESCARGA C-52/-C100	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO ALUMBRAD TORRE TRANSF C-52/C-100	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO ALUMBRADO PASARELA C-52	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO BOTONERA PARTIR/PARAR BPP C-100	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO COSTANER BUZON DSCARG C-52/C-100	B	IMPORTANTE	MEDIANA
CONJUNTO DEFLECTOR DE IMPACTO C-52/C-100	B	IMPORTANTE	MEDIANA
CONJUNTO DEFLECTOR INTERMEDIO C-52/C-100	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO DETECTOR DE VELOCIDAD CERO C-100	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO ELEMENTOS DE CONTROL C-52	B	IMPORTANTE	MEDIANA
CONJUNTO ESCALERA TIPO GATO C-52/C-100	C	COMÚN	BAJA
CONJUNTO ESTRUCTURA METALICA C-52/C-100	B	IMPORTANTE	MEDIANA
CONJUNTO SENSOR DE ATOLLO CHUTE C-100	B	IMPORTANTE	MEDIANA
CONJUNTO TIRON DE CUERDA EMERGENCIA C-100	B	IMPORTANTE	MEDIANA
DESCANSO MOTRIZ D112 EXPANS NORTE C-52	C	COMÚN	BAJA
DESCANSO MOTRIZ D112 FIJO SUR C-52	C	COMÚN	BAJA
ESTRUCTURA MARCO MOTRIZ/ CABEZA C-52	C	COMÚN	BAJA
GUARDERA DE DESCARGA C-52/C-100	C	COMÚN	BAJA
MOTOR ELECT AEG 380V/18KW 1450RPM C-52	A	CRÍTICO	ALTA
REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52	A	CRÍTICO	ALTA
TAMBOR MOTRIZ D610X1118 EJE D130 C-52	C	COMÚN	BAJA

Tabla N° 3: Muestra de clasificación ABC a elementos

Fuente: Puerto WSA

ELEMENTOS		%
A	28	4
B	153	21
C	555	75
TOTAL ELEMENTOS	736	100

Tabla N° 4: Cantidad total de elementos sistema de descarga

Fuente: Puerto WSA

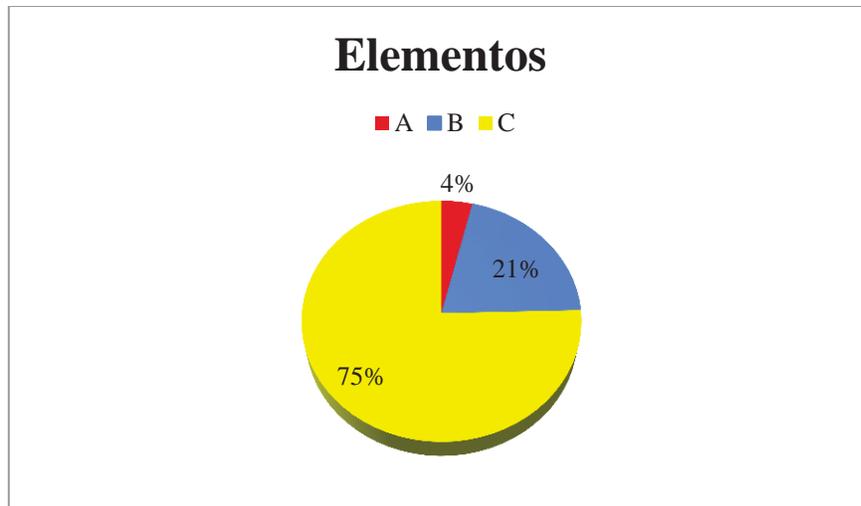


Figura N° 30: Grafica circular cantidad total de elementos sistema de descarga

Fuente: Puerto WSA

En la tabla N° 3 se dio a conocer una parte del universo de elementos que conforma el sistema de descarga, la clasificación de los elementos en A,B y C, ya se encontraba lista, para mayor detalles en cómo se desarrolló esta clasificación, revisar Anexo 2. La tabla N° 4 permitió identificar la cantidad de elementos que conforma cada grupo de criticidad. Con apoyo del gráfico circular de la figura N° 30, se pudo visualizar los porcentajes que conforma cada grupo.

En esta primera etapa, bastó con tomar la tabla N° 3 y realizar un filtro de los elementos, dejando solo los elementos A y B. En específico, para este sistema de descarga de gránulos, de un total de 736 elementos solo el 25% de éstos pasarían a los análisis siguientes de este modelamiento, ver figura N° 31.

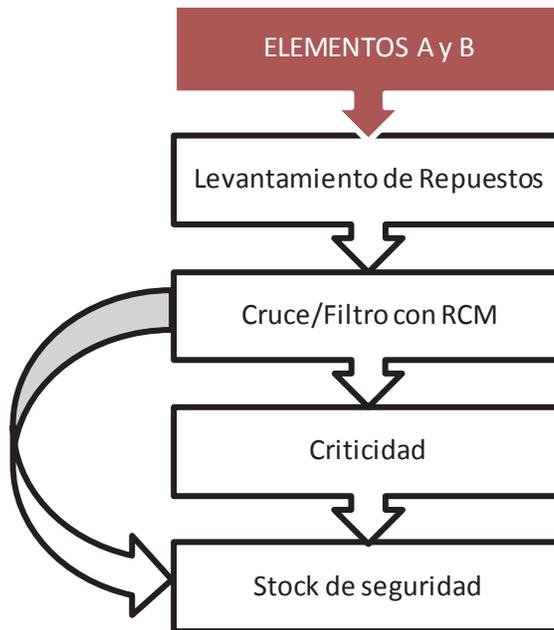


Figura N° 31: Diagrama de Finalización de Etapa

Fuente: Elaboración Propia

5.2 LEVANTAMIENTO DE REPUESTOS

En esta segunda etapa, lo primero fue realizar una clasificación de los elementos en las 3 categorías descritas en la sección 4.3.2, para ello se consideraron 2 elementos con clasificación de criticidad tipo A que serán sometidos al análisis, los elementos seleccionados corresponden a “REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52”, el segundo elemento es “MOTOR ELEC Nord Technik 220/380V/11 Kw AV1”. La selección de estos elementos se realizó por el motivo que ambos se suelen encontrar en la mayoría de las industrias, por ende puede servir de guía al momento aplicar este modelamiento.

Elementos	Criticidad del Elemento
MOTOR ELEC Nord Technik 220/380V/11 Kw AV1	A
REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52	A

Tabla N° 5: Elementos seleccionados

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se sometió cada elemento al análisis del Diagrama de decisión clasificación de elementos figura N° 20, cabe recordar que este análisis debió ser realizado por un equipo natural de trabajo, es decir personas que estén en contacto directo con el elemento y que conformen las distintas áreas de mantención. A partir de lo anterior, se procedió a clasificar los elementos con ayuda del departamento de mantención de la empresa WSA para obtener la tabla N° 6.

Elementos	Criticidad del Elemento	C1	C2	C3	Clasificación
MOTOR ELEC Nord Technik 220/380V/11 Kw AV1	A	S	R	N	E/R-E/T
REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52	A	N		S	E/D

Tabla N° 6: Clasificación Diagrama de decisión clasificación de elementos

Fuente: Elaboración propia

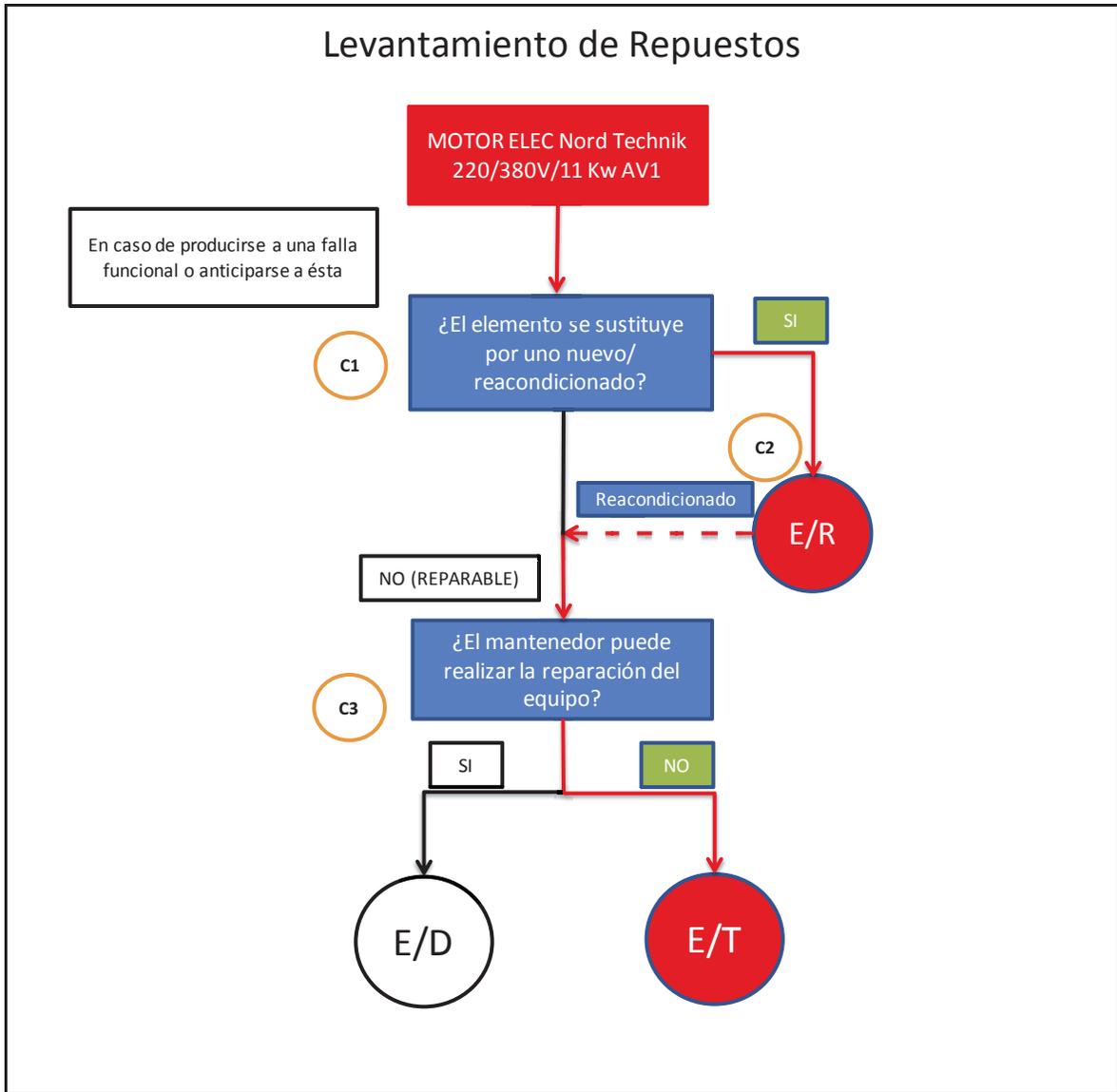


Figura N° 32: Diagrama de decisión clasificación de elementos MOTOR ELEC

Fuente: Elaboración propia

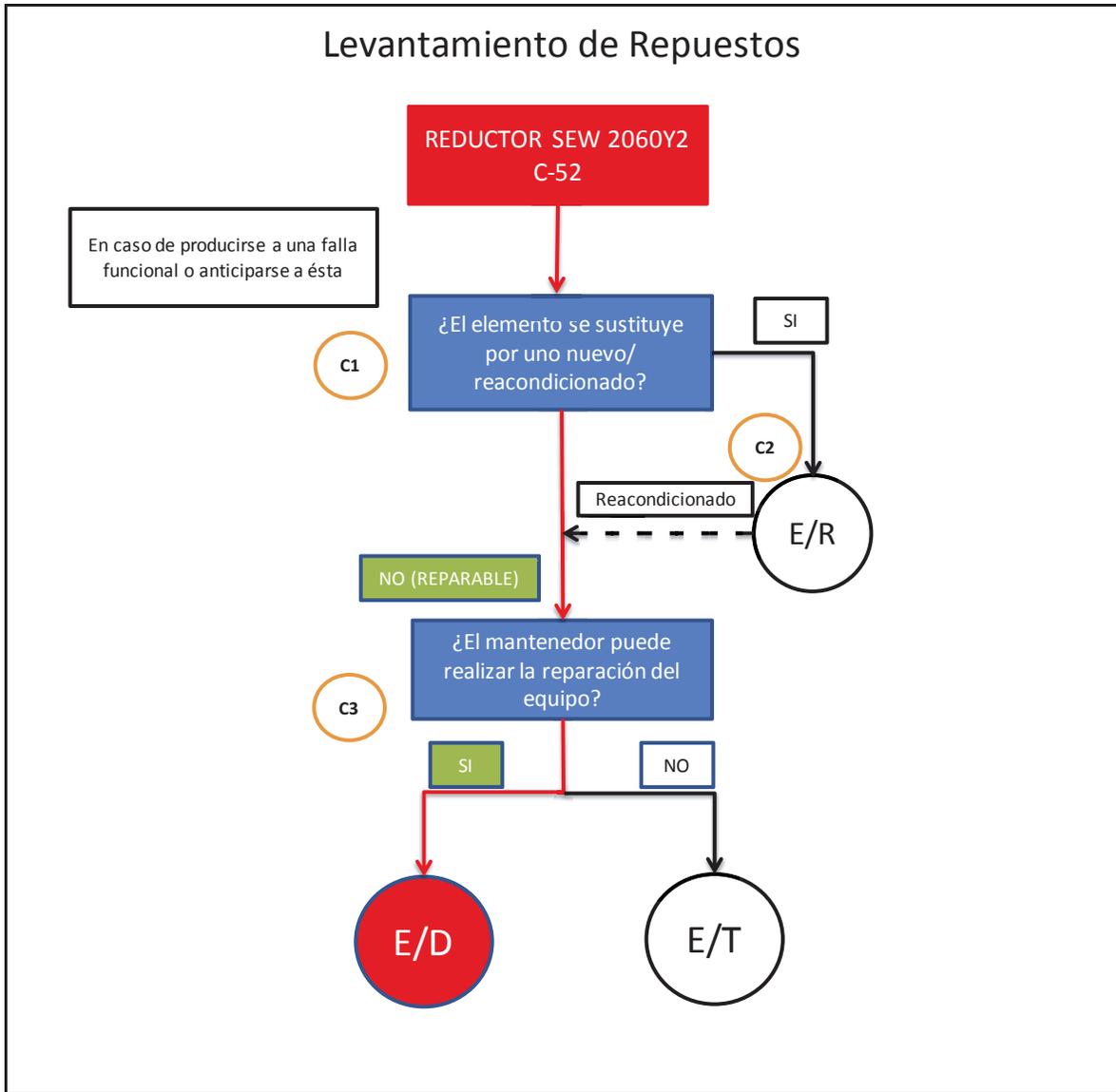


Figura N° 33: Diagrama de decisión clasificación de elementos Reductor

Fuente: Elaboración propia

La tabla N° 6, indica la clasificación obtenida del Diagrama de decisión clasificación de elementos, a los 2 elementos seleccionados para este caso aplicado. También es posible observar las respectivas clasificaciones en las figuras N° 32 y 33. Cabe recordar que este diagrama es de carácter cualitativo, lo cual considera las condiciones de mantención en base a los distintos factores que pueden afectar a la respectiva mantención del elemento. Los factores determinantes que se pueden considerar para el análisis en este caso son

conocimiento del personal, cantidad del personal, herramientas a utilizar, tiempo a emplear y cualquier otro factor que se considere relevante a la hora de realizar este procedimiento.

Para el caso del “REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52”, es un elemento que el personal de mantención se encuentra en condiciones de intervenir en caso supuesto de producirse o anticiparse a una falla funcional, por ende este tipo de elemento clasificado como E/D requiere un despiece para poder determinar las piezas o partes (nivel 9) que son necesarias para volver a la funcionalidad del elemento en caso de una falla funcional, las piezas o partes son consideradas como el ultimo ítem mantenible, es decir, es el último ítem al que se le aplican las tareas de mantenimiento. Para el segundo elemento “MOTOR ELEC Nord Technik 220/380V/11 Kw AV1”, clasificado como E/R-E/T, corresponde a un elemento que en caso de producirse una falla funcional se opta por sustituirlo por un elemento (nivel 8) nuevo o reacondicionado, por ende este elemento es considerado automáticamente como un repuesto y pasa a los siguientes análisis del modelamiento; como segunda parte este elemento se reacondiciona, por lo que sigue en el análisis del diagrama de decisión, terminando en una categoría E/T, es decir, el reacondicionamiento de éste se terceriza, por lo que no es necesario realizar un despiece, es decir, las piezas que componen este motor eléctrico no son consideradas como repuestos, siendo descartadas de todos los análisis siguientes del modelamiento.

Al tener identificada a que clase pertenece cada elemento, el paso siguiente es continuar con los elementos E/D, para determinar cuáles de sus piezas o partes se considerarán repuestos, para ello lo primero a realizar es el despiece del elemento. Para el caso específico de esta simulación el elemento “REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52”, perteneciente a una criticidad tipo A y una clasificación E/D cumple con las características para identificar cada pieza que lo compone, como se verá a continuación:

REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52

En esta etapa lo que se requirió fue información concerniente a este reductor, lo primero fue identificar qué tipo de reductor es, por lo que se debió hallar la placa de información de éste, ver figura N° 34.

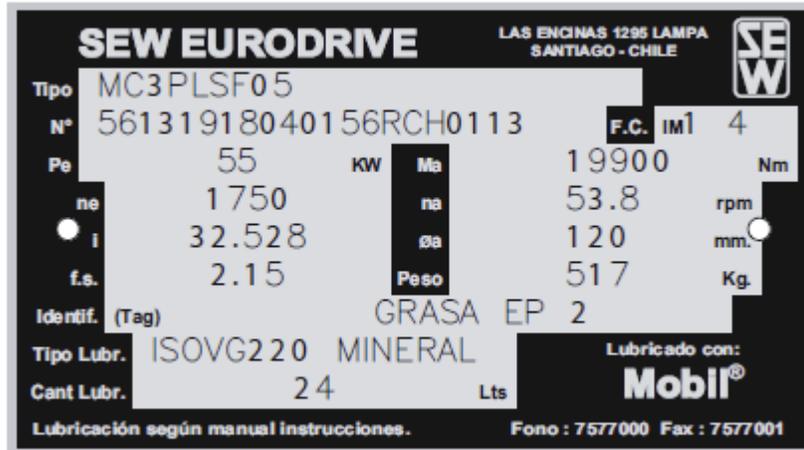
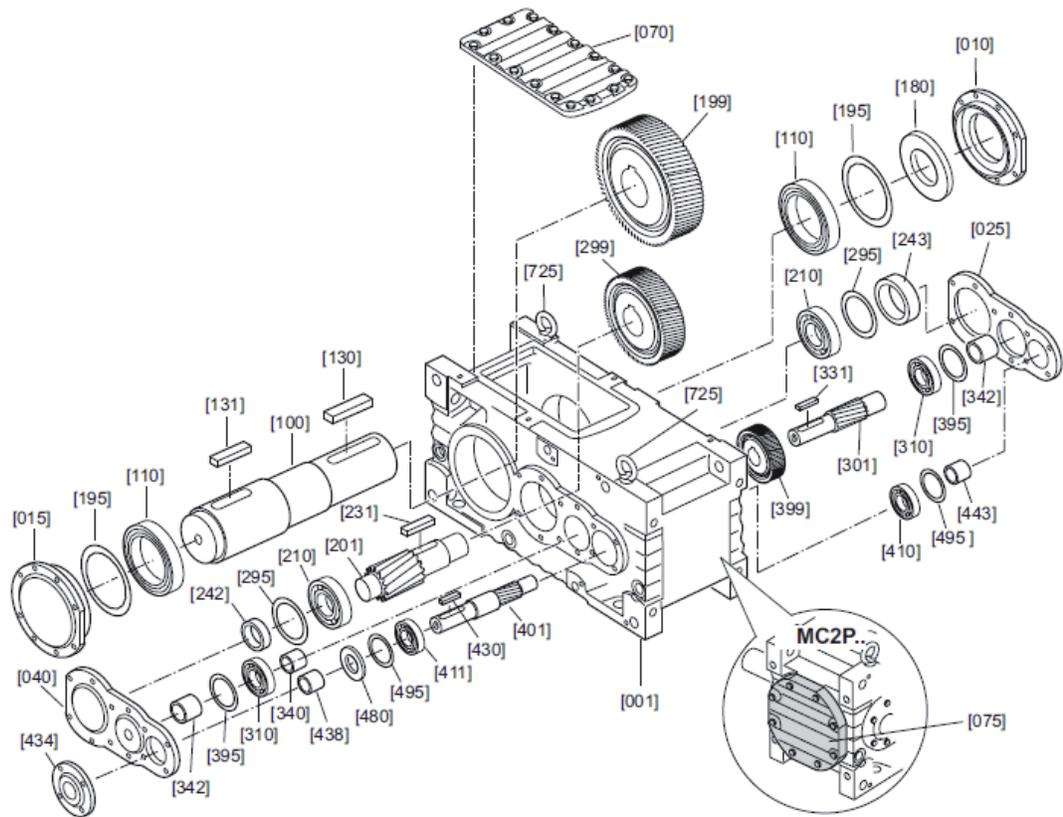


Figura N° 34: Placa característica de un reductor industrial marca SEW

Fuente: (SEW EURODRIVE, 2005) Recuperado de <https://bit.ly/2OxzFeW>

Al tener la placa de información del elemento en análisis se procedió a la búsqueda de catálogos, que permitió realizar el despiece de éste. Al realizar la búsqueda se pudo encontrar diagramas de despiece como se puede apreciar en la figura N° 35.



[001] Carcasa	[131] Chaveta	[299] Rueda	[410] Rodamiento
[010] Tapa del rodamiento	[180] Retén	[301] Árbol piñón	[411] Rodamiento
[015] Tapa del rodamiento	[195] Arandela de ajuste	[310] Rodamiento	[430] Chaveta
[025] Tapa del rodamiento	[199] Rueda de salida	[331] Chaveta	[434] Tapa
[040] Tapa del rodamiento	[201] Árbol piñón	[340] Distanciator	[438] Casquillo
[070] Tapa del reductor	[210] Rodamiento	[342] Distanciator	[443] Casquillo distanciator
[075] Tapa de montaje	[231] Chaveta	[395] Arandela de ajuste	[480] Retén
[100] Eje de salida	[242] Distanciator	[399] Rueda	[495] Arandela de ajuste
[110] Rodamiento	[243] Distanciator	[401] Eje de entrada	[725] Tornillo de cáncamo
[130] Chaveta	[295] Arandela de ajuste		

Figura N° 35: Estructura general del reductor industrial de la serie MC marca SEW

Fuente: (SEW EURODRIVE, 2005) Recuperado de <https://bit.ly/2OxzFeW>

En esta etapa del modelamiento no es necesario contar con una información detallada de las piezas que componen el reductor. La razón de lo anterior se debe a que muchas de esas piezas no se consideraron repuestos. Por ende, el obtener información adicional de ellos se traduciría en un desgaste adicional de las personas que llevan a cabo el proceso.

Al obtener el universo de piezas que conforman el elemento, se procedió a analizar cada una de ellas en el Diagrama de decisión clasificación de piezas Figura N° 22. Al realizar el análisis de las piezas permitió identificar cuáles de éstas son reemplazadas por el equipo de mantención en caso de producirse o anticiparse a una falla funcional, identificando el requerimiento real de piezas que el equipo de mantención necesita y estableciendo los pasos a seguir para esas piezas que no son consideradas repuestos.

Para el caso simulado se consideraron 3 piezas de este reductor que fueron sometidas al Diagrama de decisión clasificación de piezas, cabe recordar que el análisis se debió realizar por un equipo natural de trabajo conformado por las personas que tienen contacto directo con la pieza, la tabla N° 7 y las figuras N° 36, 37 y 38, permiten apreciar la clasificación de las piezas:

N° pieza Diagrama general	Pieza	C4	C5	Resultado
[100]	Eje de salida	N	N	E/T
[110]	Rodamiento	S		P/R
[199]	Rueda de salida	N	S	E/R

Tabla N° 7: Clasificación Diagrama de decisión clasificación de piezas

Fuente: Elaboración Propia

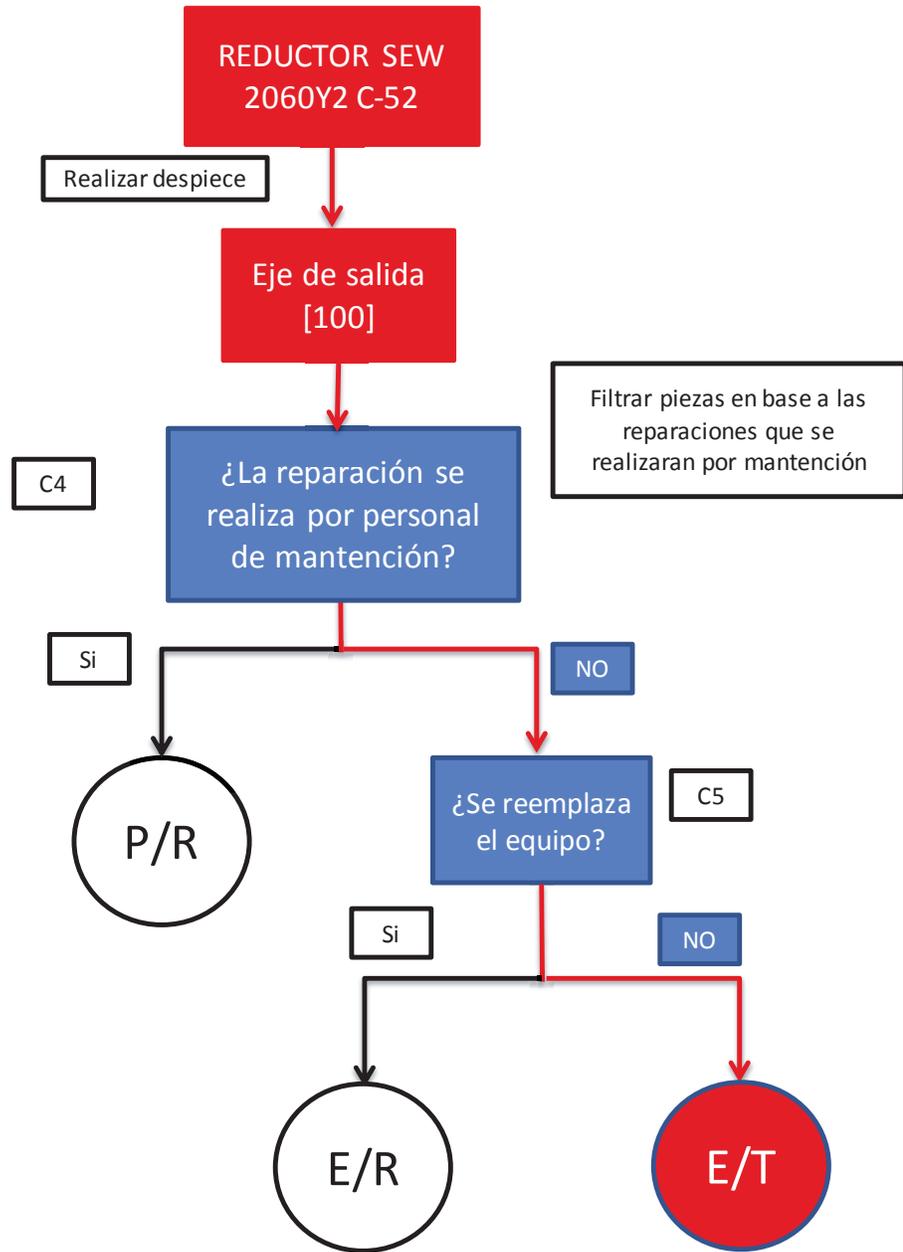


Figura N° 36: Diagrama de decisión clasificación de piezas Eje de salida [100]

Fuente: Elaboración propia

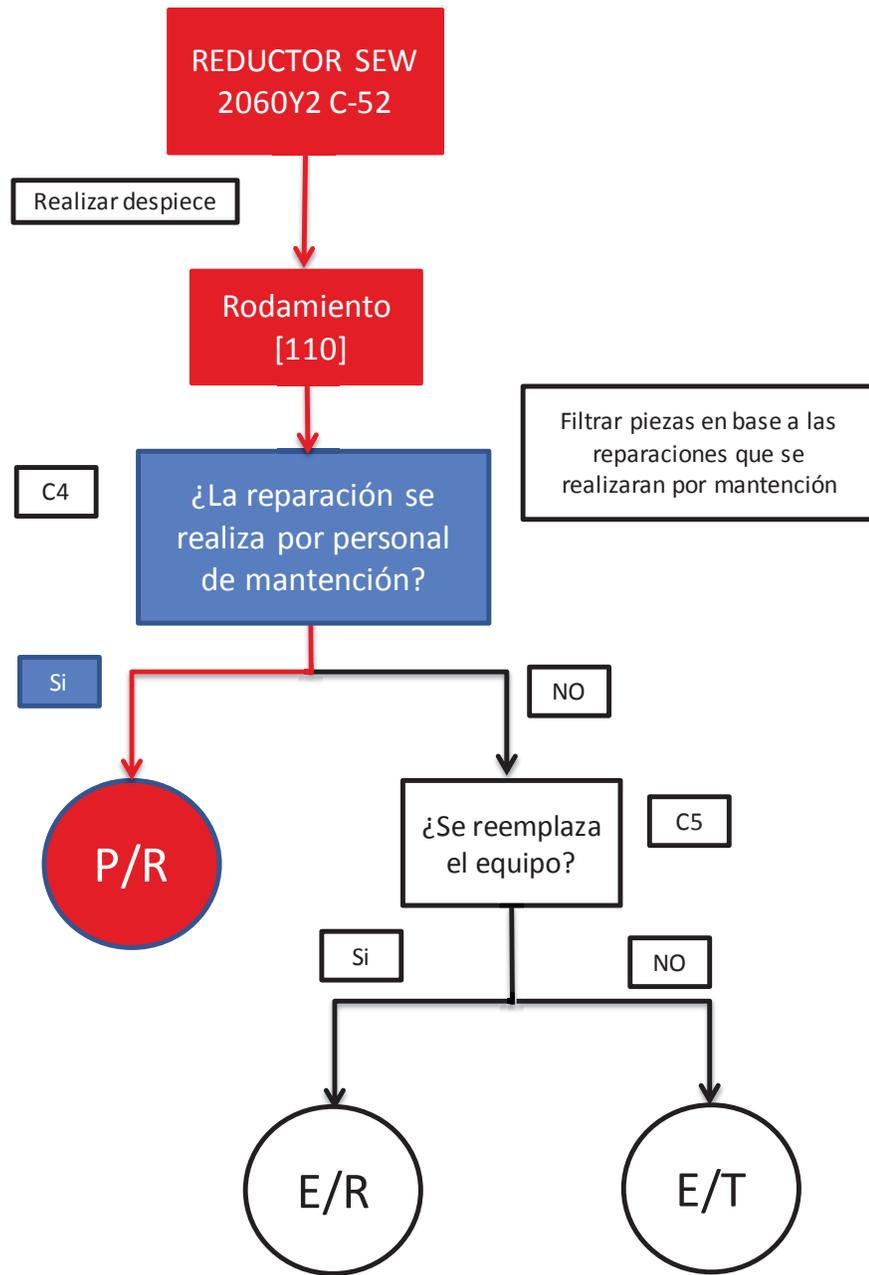


Figura N° 37: Diagrama de decisión clasificación de piezas Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración propia

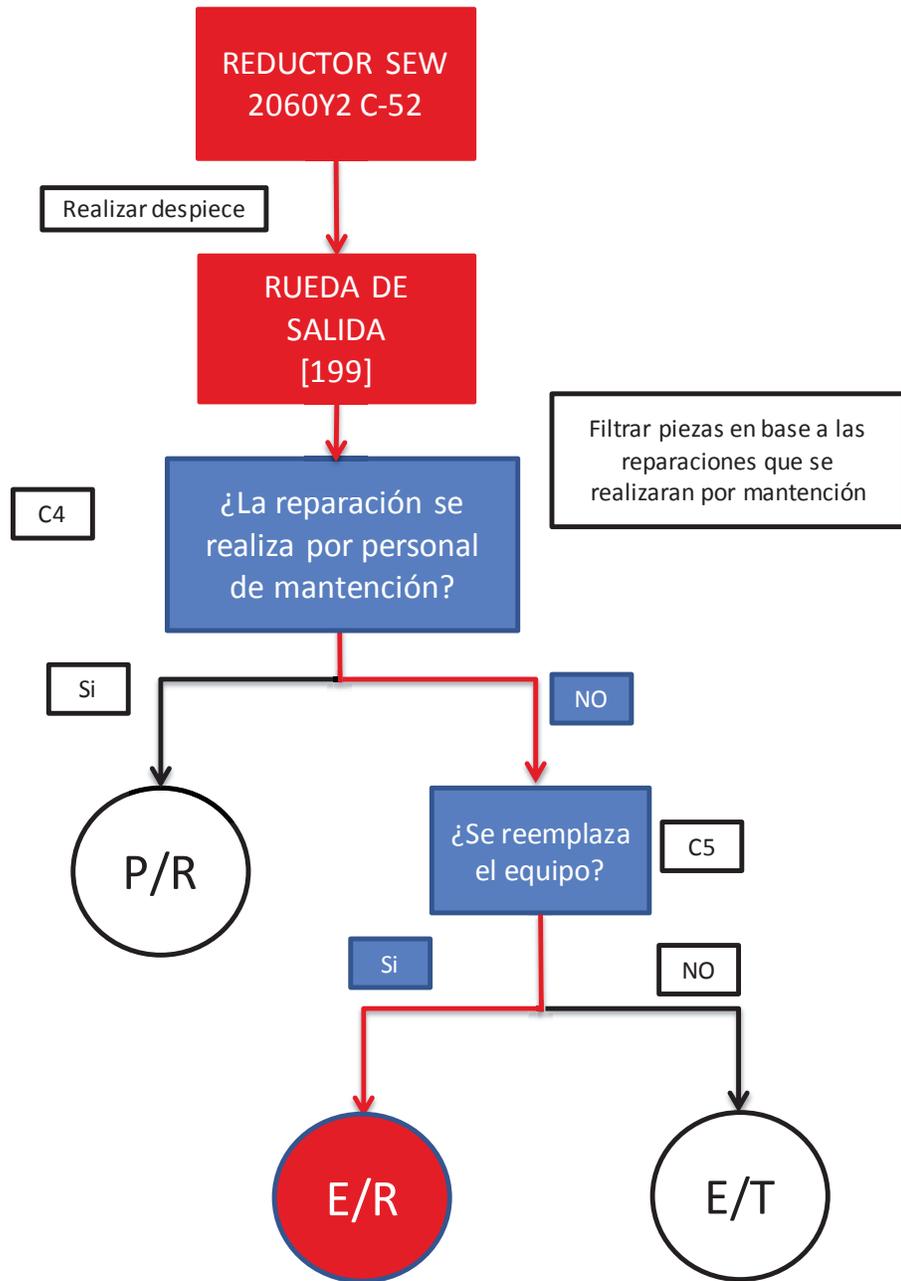


Figura N° 38: Diagrama de decisión clasificación de piezas Rueda de salida [199]

Fuente: Elaboración propia

Al obtener la clasificación en la tabla N° 7, se continuó trabajando con las piezas clasificadas en P/R (piezas consideradas repuestos), las piezas clasificadas en E/T (elemento tercerizado) se descartaron de los siguientes análisis del modelamiento, debido a que producto de producirse o anticiparse a una falla funcional de esta pieza en específico la mantención se terceriza incluyendo los repuestos que sean necesarios; las piezas clasificadas en E/R (elementos considerados repuestos automáticamente) continúan los análisis del modelamiento, ver figura N° 39. Hay que tener claro que en caso producirse una falla funcional, no se reemplaza la pieza afectada, por lo que se opta por reemplazar el elemento, para este caso si la rueda de salida sufre rotura se procede a reemplazar el reductor.

Para culminar esta segunda etapa del modelamiento se procedió a la identificación en detalle de los elementos y piezas considerados repuestos para el equipo de mantención. Fue de vital importancia ingresar correctamente el nombre del repuesto, debido a que se puede encontrar repuestos que posean características similares y que podrían parecer iguales para alguien que no está familiarizado con él. Un caso práctico de lo anterior, es la comparación de dos rodamientos, Rod SKF 6016 con un ROD SKF 6016-2RS1, ambos son rodamientos rígidos de bolas, pero éste último posee dos juntas de caucho sintético para evitar los escapes de lubricante, garantizando la estanqueidad al polvo, agua y otros materiales perjudiciales. Este tipo de diferencias puede afectar directamente en la vida del rodamiento debido que están diseñados para condiciones de trabajo diferentes. Todo lo realizado en esta segunda etapa se ve reflejado en la tabla N° 8.

Elemento	Criticidad	Clasificación de elementos	Código piezas catalogo	Piezas o partes	Clasificación de piezas	Nombre del repuesto	Código (Repuesto)	Código SAP (Repuesto)	Proveedor	Tiempo de entrega (Hr)	Precio (peso)	Características
REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52	A	E/D										
			[100]	Eje de salida	E/T							
			[110]	Rodamiento	P/R	Rod. SKF 6016		30004445	Rodacenter	10	35.000	
			[199]	Rueda de salida	E/R	Reductor SEW MC3PLSF05		30004040	Sew Eurodrive Chile Ltda	36	4.350.000	
MOTOR ELEC Nord Technik 220/380V/11 Kw AV1	A	E/R-E/T				Motor Elec Nord Technik MS160M4		30003030	DUCASSE	48	2.800.000	

Tabla N° 8: Levantamiento de Repuestos Elementos A y B

Fuente: Elaboración Propia

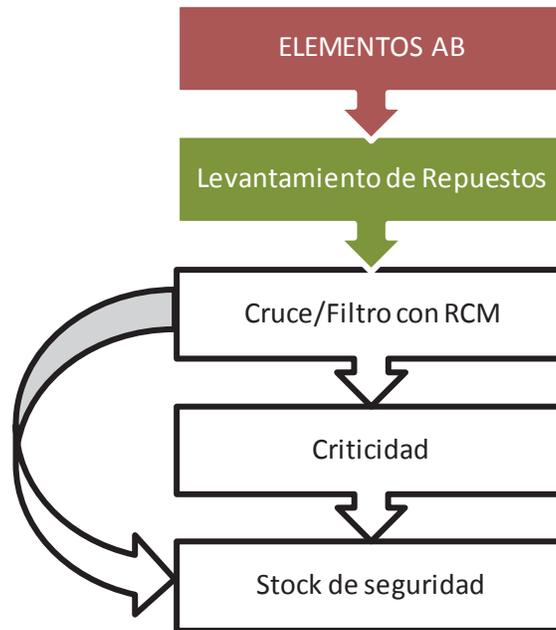


Figura N° 39: Diagrama de Finalización de Etapa

Fuente: Elaboración Propia

5.3 CRUCE/FILTRO CON RCM

Para esta etapa del modelamiento se continuó con el análisis de la pieza Rodamiento [110], del elemento “REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52”, se contempló el uso de la información proveniente de RCM2, en este caso específico, puerto WSA desarrolló RCM2 a familias de elementos ver Anexo 3, lo que quiere decir, que despliega los conceptos y técnicas de RCM2 a un grupo de elementos de similares características.

RCM2 analiza los distintos modos de fallo de los elementos y piezas provenientes del análisis AMFE (Análisis de modo de fallas y sus efectos), con esto propone tareas de sustitución o reacondicionamiento cíclico y tareas a condición a través del diagrama de

decisión RCM2 ver figura N° 1, para aquellos repuestos que sean parte de las tareas de sustitución cíclica basta con establecer la cantidad de repuestos que se necesitan en un tiempo establecido. No se profundizará en aquellos debido que no ameritan mayor análisis.

Al descartar los repuestos que tengan asociado tareas de sustitución cíclica, se continuó esta etapa del modelamiento con aquellos repuestos que tienen asociados tareas a condición. Las tareas a condición son otorgadas por RCM2, el cual toma en consideración la factibilidad de realizar dichas tareas, la asignación de éstas queda limitada a factores que afectan directamente al elemento o pieza, dentro de los cuales se pueden mencionar, ubicación del elemento, espacio del recinto donde está instalado, características de funcionamiento, etc. En ciertas ocasiones, la aplicación de RCM2 se realiza a familias de elementos, es decir, se considera un grupo de elementos con similares características, como por ejemplo reductores, existen de diversos tamaños, velocidades de funcionamiento, fabricantes, su composición es de forma similar entre uno u otro. A partir de lo anterior los modos de falla provenientes del AMFE y las tareas a condición proporcionado por RCM2 se encuentran de forma genérica en el elemento de análisis, por lo que, las tareas a condición que se mencionan en RCM2 en la familia del elemento, en la práctica no puedan llevarse a cabo, para conocer cuáles son realmente factibles es necesario chequear la pauta de mantención específica del elemento de análisis.

En resumen de lo anterior se puede obtener la tabla N° 9 referida a la pieza en análisis:

Elemento	Criti- dad	Clasificación de elementos	Codigo piezas catalogo	Piezas o partes	Clasificación de piezas	Nombre del repuesto	Código (Repuesto)	Código SAP (Repuesto)	Proveedor	Tiempo de entrega (Hr)	Modos de Falla	Tarea de Mantenición	Frecuencia (dias)
REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52	A	E/D											
			[110]	Rodamiento	P/R	Rod. SKF 6016		30004445	Rodacenter	10	Desgaste	Análisis de Vibraciones Mecánicas	30
												Análisis Aceite	15
											Rotura	Análisis de Vibraciones Mecánicas	30
												Análisis Aceite	15
												Inspección Auditiva	7
											Roce	Análisis de Vibraciones Mecánicas	30
												Análisis Aceite	15
												Inspección Auditiva	7
											Picadura	Análisis de Vibraciones Mecánicas	30
												Análisis Aceite	7
											Agripamiento	Análisis de Vibraciones Mecánicas	30
											Vibraciones Mecánicas	Análisis de Vibraciones Mecánicas	30

Tabla N° 9: Tareas de Mantenición asociadas a piezas P/R

Fuente: Elaboración Propia

Como se logra apreciar en la tabla N° 9, la pieza de análisis tiene asociado distintos modos de falla, que a la vez se controlan con las tareas a condición de Análisis auditivo, Análisis de aceite y Análisis de vibraciones. Aquí se dio a conocer la frecuencia con que se realiza cada inspección; cada tarea a condición proporciona un Intervalo de fallo potencial (IFP) diferente, logrando prolongar este intervalo con las técnicas de mayor precisión, siendo en este caso el análisis de vibraciones. En la figura N° 26, se dio a conocer distintos IFP en base a estas técnicas, para el caso en específico de este rodamiento se considera que el IFP a través de la técnica de análisis de vibraciones corresponda a dos meses, análisis de aceite un mes y por último análisis auditivo de dos semanas, datos que deben ser proporcionados por personal capacitado en el tema. Cabe recordar que la frecuencia de las tareas a condición debe ser menor al IFP, de no ser así no se justifica que se realicen dichas tareas.

Al conocer el IFP y la frecuencia de cada tarea a realizar es posible identificar el IFP neto, el cual corresponde al tiempo real de anticipación a la falla funcional. Para el caso específico de la pieza en análisis, en donde los modos de falla son dados a conocer en la tabla N° 9, se aprecia que cada modo de falla tiene asociado más de una tarea a condición, en los cuales varían las frecuencias de inspección. Con ello, se procedió a buscar la tarea a condición que proporciona el mayor IFP con cada modo de falla, con ello se comparan estos valores obtenidos de cada modo de falla y se identifica el valor menor, siendo éste el valor IFP menor identificable de una falla potencial. Volviendo al caso aplicado y verificando cada modo de falla de la tabla N° 9, vemos que cada uno de ellos tiene asociado como tarea a condición el Análisis de Vibraciones Mecánicas, como se estableció anteriormente, el análisis de vibraciones proporciona un IFP de dos meses, es decir, el IFP mayor de cada modo de falla es de dos meses, ahora al momento de comparar los valores obtenidos, nos damos cuenta que el IFP es el mismo entre los distintos modo de falla, por lo al momento de buscar el menor ellos se obtiene que el IFP menor identificable es de dos meses. Para determinar el IFP neto se considera la siguiente expresión:

IFP NETO: IFP-FRECUENCIA DE INSPECCIÓN

La cual corresponde al intervalo de tiempo real, es decir, el punto donde el modo de falla se vuelve identificable es precisamente después de realizar el análisis de vibraciones, considerando que la frecuencia con que se realiza el siguiente análisis de vibraciones es de

30 días y el IFP es de dos meses o 60 días indica que el IFP NETO es de 30 días, por ende el tiempo de anticipación a la falla funcional pasa de ser dos meses a tan solo un mes, lo anterior se representa en la figura N° 40.

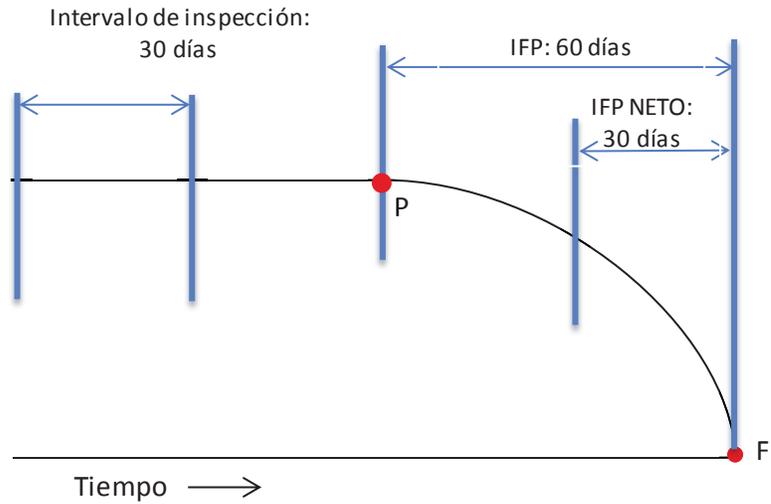


Figura N° 40: Curva P-F IFP Neto Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

En base a lo anterior para la pieza de análisis y aplicado las técnicas de forma correcta es posible anticiparse a ella en al menos 30 días, siendo éste el IFP neto para la pieza Rodamiento [110] del elemento REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52, ver tabla N° 10.

N° pieza Diagrama general	Pieza	IFP neto [Hr]	Tiempo entrega del repuesto [Hr]
[110]	Rodamiento	720	10

Tabla N° 10: IFP neto Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

Al determinar el IFP neto, se conoció el tiempo de anticipación menor en que se puede producir la falla funcional, siendo posible realizar una comparación de éste con el tiempo de entrega de la pieza de análisis y verificar que inecuación es resultante, ver figura N° 28 o determinar el Ratio de ADC, ver tabla N° 11.

N° pieza Diagrama general	Pieza	IFP neto [HR]	Tiempo entrega del repuesto [Hr]	Ratio de ADC
[110]	Rodamiento	720	10	72

Tabla N° 11: Ratio de ADC Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

Al obtener un Ratio de ADC mayor a 1, lo que corresponde a que el IFP Neto es mayor que el tiempo de entrega del repuesto, es posible optar por no mantener un stock de repuesto en bodega trabajando con una política de stock just in time. Esto es aceptable debido a que las técnicas de predicción permiten pronosticar cuándo ocurrirá la falla funcional. Lo anterior es viable solo cuando la información utilizada posee un nivel de confiabilidad alta. Para todos los casos en que el IFP Neto sea menor al tiempo de entrega de repuesto o en aquellos en que el IFP es mayor que el tiempo de entrega del repuesto pero se duda del IFP Neto obtenido, debido a diversos factores como pueden ser humanos, ambientales, etc, se procede con la siguiente etapa del modelamiento. Tomando en consideración lo anterior, se pudo determinar qué repuestos pueden trabajar en base a una política de nivel de stock just in time, dejando establecido la forma en que debe aplicarse. Para continuar con el caso aplicado de éste modelamiento se considerará que la pieza de análisis anteriormente trabajada, Rodamiento [110] del elemento REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52, posee un IFP neto con un nivel de confiabilidad bajo, a modo de representar la manera adecuada de aplicar las siguientes etapas planteadas en la determinación de un nivel stock de seguridad.

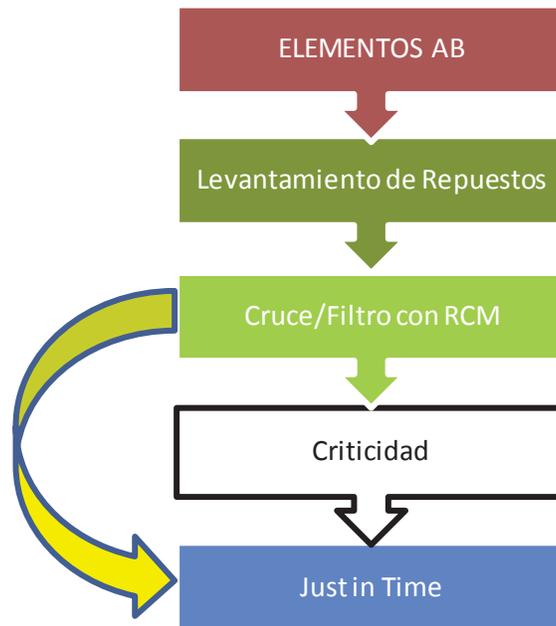


Figura N° 41: Diagrama de Finalización de Etapa

Fuente: Elaboración Propia

5.4 CRITICIDAD DE REPUESTOS

En esta etapa lo que se buscó es establecer un nivel de criticidad a los repuestos identificados en las secciones anteriores, por ello se continuó el análisis como se mencionó en el capítulo anterior de la pieza Rodamiento [110] del elemento REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52, cabe señalar que las etapas anteriores se desarrollaron con un equipo natural de trabajo, conformado por personal de mantención. A partir de esta etapa se trabajó con personal del área de confiabilidad de la empresa.

Como se estableció en la sección 4.3.4, el nivel de criticidad se calculará a partir de un ADC de tipo cuantitativo, para ello se trabaja con la formula universal de criticidad

Nivel de Criticidad: Ocurrencia*Consecuencias

A partir de esto se procede a elaborar las tablas de factores:

- i. Tabla de factor de ocurrencia
- ii. Tabla de factores consecuencias

- i. Tabla de factor de ocurrencia: para el desarrollo de esta tabla se debió asignar un factor en base a la frecuencia de falla de elementos o piezas. En este caso en específico referido a la línea de descarga de gráneles de la empresa WSA. Para ello lo primero a considerar por el equipo de confiabilidad es la máxima cantidad de fallas producidas en un periodo de tiempo, cabe mencionar que los periodos que se consideran dependen de las personas que realicen el análisis, para este caso en específico a modo de simulación se estableció trabajar en cantidad de fallas por año. Al momento de obtener esta información, se debió formar rangos de frecuencias de fallas, para la respectiva asignación de factores, el definir cuantos rangos de frecuencias de falla es necesario depende del nivel de precisión que se desee. Para hacer posible la elaboración de esta tabla se consideró una frecuencia de fallas máxima de 8 fallas en un periodo de un año para esta línea de descarga de gráneles. Se consideraron tres rangos posibles, los cuales se designan por alto, moderado y bajo. Cada rango se conformó de dos factores cada uno, el rango alto toma en consideración la frecuencia de falla máxima, que en este caso fue 8 fallas por año, para el rango bajo se considera una frecuencia de falla menor o igual a 0.25 fallas por año, lo que es igual a 1 falla en un periodo de 4 años. A partir de lo anterior para la conformación de la tabla se parte con la frecuencia de falla 0.25 fallas por año y se le asigna un factor 1, a modo de establecer valores tabulados se ocupa el criterio de ir doblando el valor de la frecuencia de fallas, es decir, el segundo valor correspondiente al rango bajo es de 0.5 fallas por año al cual se asigna un factor de 2, los factores que se asignan van aumentando de 1 en 1. Lo anterior se puede apreciar en la tabla N° 12:

Factor Ocurrencia de Falla de piezas		
Ocurrencia del fallo	Frecuencia de Falla (fallas/año)	Factor
Alto	$4 < X \leq 8$	6
	$2 < X \leq 4$	5
Moderado	$1 < X \leq 2$	4
	$0,5 < X \leq 1$	3
Bajo	$0,25 < X \leq 0,5$	2
	$X \leq 0,25$	1

Tabla N° 12: Factor Ocurrencia de fallas de piezas

Fuente: Elaboración Propia

La manera adecuada de utilizar la tabla N° 12 de factor ocurrencia de falla de piezas, es obtener la frecuencia de falla de la pieza, la cual se representó por “X” en la tabla, por lo que se debió identificar a que intervalo pertenece y verificar en la columna derecha el factor asignado.

- ii. Tabla de factor de consecuencia: como se mencionó en la sección 4.3.4, se considera como única consecuencia, el costo de perdida por falta de repuesto; el cual corresponde al costo de indisponibilidad hora por la cantidad de horas que demora en llegar el repuesto. Para la elaboración de esta tabla, se debió conocer el costo de indisponibilidad por hora, para este caso se asumirá como \$300 dólares/hora. Además, se debió analizar el tiempo de entrega de repuesto, específicamente el tiempo mayor; con ello fue posible establecer rangos para asignación de factores, en función de ello se consideró que el tiempo de entrega máximo que tiene un repuesto de la línea de descarga de gráneles es de 1 mes, con ello se definen tramos que involucran los costos asociados a las pérdidas por 1 día, 1 semana, 2 semanas y 1 mes, a los cuales se le asignaron factores de 2,4,6 y 8 respectivamente. Lo anterior se visualiza en la tabla N° 13:

Tiempo considerado (Hr)	Costo de perdida por falta de repuesto (valor en dólares)	Factor costo por falta repuesto
5040	US\$ 100800 < Y	8
336	US\$ 50400 < Y ≤ US\$ 100800	6
168	US\$ 7200 < Y ≤ US\$ 50400	4
24	Y ≤ US\$ 7200	2

Tabla N° 13: Factor costo por falta de repuesto

Fuente: Elaboración Propia

La manera adecuada de utilizar la tabla de factor costo por falta de repuesto, es realizando el cálculo de costo por perdida de repuesto a cada pieza en análisis, en la tabla este dato se representó por “Y”, basta con identificar al rango que pertenece y obtener el factor en la columna derecha.

Al conocer los factores necesarios para determinar la criticidad, es posible hacer la clasificación en A, B y C, en donde el valor máximo obtenible es de 48, entonces las piezas que se clasifiquen bajo el 30% de éste, corresponderían a la categoría C, los que se clasifiquen entre el 30 a 80% del máximo valor obtenible, pasarían a ser parte de la categoría B y por ultimo todos los que estén por sobre el 80% se catalogan como A. Con la clasificación en las tres categorías de criticidad, se debe otorgar un nivel de servicio a cada categoría, esta decisión se debió tomar por el área de confiabilidad y abastecimiento de la empresa. Lo anterior se representa en la tabla N° 14.

Clasificación	Intervalos de Criticidad	Nivel de servicio
A	38,4 < Nivel Crit. ≤ 48	99%
B	14,4 ≤ Nivel Crit. ≤ 38,4	98%
C	Nivel Crit. < 14,4	95%

Tabla N° 14: Intervalos de criticidad y Nivel de servicio

Fuente: Elaboración Propia

Cabe recalcar que los datos necesarios de las piezas o elementos de análisis, es la frecuencia de falla y el tiempo de entrega del repuesto, si se desconoce la frecuencia de falla de la pieza de análisis se utiliza la frecuencia de falla asociada al elemento, lo que se traduciría en valores más conservadores, hasta que se tenga un registro específico de la pieza de análisis.

Para el caso simulado de la pieza de análisis, se consideró la frecuencia de fallas de 3 fallas/año, a modo de visualizar como afecta el tiempo de entrega del repuesto se otorgara 3 tiempos distintos, de 4 (Hr), 150 (Hr) y 650 (Hr), no olvidar que el costo de indisponibilidad hora es de \$300 (dólares). En la tabla N° 15 se da a conocer el cálculo criticidad para los casos señalados anteriormente.

Elemento o Pieza	Frecuencia de fallas (falas/año)	Factor Ocurrencia	Tiempo de Entrega (Hr)	Costo de Pérdida por Demora (dólares)	Factor Costo de Pérdida por Demora	Nivel de crit.	Categoría de crit.	Nivel de servicio [%]
Rodamiento [110]	3	5	4	1200	2	10	C	95
	3	5	150	45000	4	20	B	98
	3	5	650	195000	8	40	A	99

Tabla N° 15: Criticidad de Repuestos y Nivel de servicio Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

El factor ocurrencia fue obtenido en la tabla N° 12, el factor costo de indisponibilidad en la tabla N° 13, el nivel de criticidad es la multiplicación de ambos factores; la categoría de criticidad se obtiene de la tabla N° 14, al igual que el nivel de servicio.

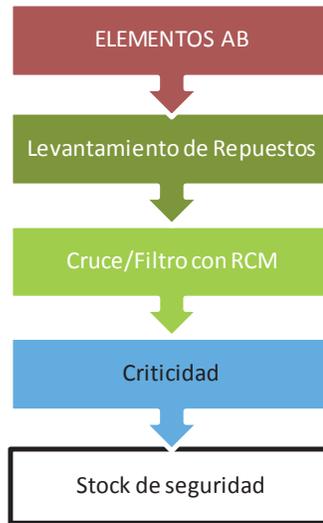


Figura N° 42: Diagrama de Finalización de Etapa

Fuente: Elaboración Propia

5.5 STOCK DE SEGURIDAD

Como se estableció en el capítulo 4, para determinar el stock de seguridad se adopta la política de nivel de stock de S-1,S; en donde S-1 es la cantidad de stock que se calculara a partir de la distribución de Poisson, a la cual se le sumará 1 unidad, es decir, a cualquier pieza o elemento a analizar por este método se asegurara al menos 1 unidad en bodega.

Para calcular S-1, es necesario aplicar la distribución de Poisson, la cual consiste en la siguiente expresión:

$$P_x(t) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

$P_x(t)$ = Probabilidad de que ocurra un evento en el tiempo

λ = Frecuencia de fallas

t = Tiempo de entrega del repuesto

x = cantidad de eventos (0,1,2,3...) que ocurren en un tiempo (t)

e = Numero de Euler 2.71828182846

En base a esta distribución se considera cual es la probabilidad de que ocurra una falla funcional en el periodo que se demora en llegar un repuesto, es decir, este periodo corresponde al tiempo de entrega del repuesto. Al igual que la sección anterior, el análisis se realizó en base a 3 tiempos de entrega, como se aprecia en la tabla N° 16.

Elemento o Pieza	Frecuencia de fallas (fallas/año)	Tiempo de Entrega (Hr)	Nivel de servicio
Rodamiento [110]	3	4	95
		150	98
		650	99

Tabla N° 16: Información caso simulado Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

Para el primer caso:

Frecuencia de fallas [fallas/año]	Frecuencia de fallas [fallas/hora]	Tiempo entrega repuesto [Hr]	Nivel de servicio [%]	Cantidad de fallas funcionales	Distribución de Poisson	Probabilidad de Falla [%]	Distribución de Poisson Acumulada	Nivel mínimo [S-1]	Stock de seguridad [S]
3	0,000342091	4	95	0	0,998632572	99,86325723	99,86	0	1
				1	0,001366492	0,13664923	100,00		
				2	9,34929E-07	9,34929E-05	100,00		
				3	4,26441E-10	4,26441E-08	100,00		

Tabla N° 17: Calculo caso 1 Stock de seguridad Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

Como se logra apreciar en la tabla N° 17, la probabilidad de que ocurra 0 fallas funcionales en el periodo de 4 (hr), es de 99.9 %, con el cual se asegura ampliamente el nivel de servicio a cumplir por la empresa que en este caso es de 95 %, entonces el cálculo S-1 a partir de la distribución de Poisson es de 0 unidades, pero como se trabaja con la política de nivel de stock S-1,S; se le debe sumar 1 unidad al valor obtenido, por lo que el valor a entregar al área de abastecimiento es de mantener al menos 1 unidad en bodega correspondiente al stock de seguridad para la pieza Rodamiento [110] del elemento REDUCTOR SEW 2060Y2 C-52; cabe recordar que el área de abastecimiento trabaja bajo una política de nivel de stock de revisión continua, utilizando el modelo denominado dientes de sierra, por lo que el valor entregado se utiliza para desarrollar respectivo modelo.

Para el caso 2:

Frecuencia de fallas [fallas/año]	Frecuencia de fallas [fallas/hora]	Tiempo entrega repuesto [Hr]	Nivel de servicio [%]	Cantidad de fallas funcionales	Distribución de Poisson	Probabilidad de Falla [%]	Distribución de Poisson Acumulada	Nivel mínimo [S-1]	Stock de seguridad [S]
3	0,000342091	150	98	0	0,94998068	94,99806824	94,9980682	1	2
				1	0,04874696	4,87469562	99,8727639		
				2	0,00125069	0,125069161	99,997833		
				3	2,1393E-05	0,002139251	99,9999723		

Tabla N° 18: Calculo caso 2 Stock de seguridad Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

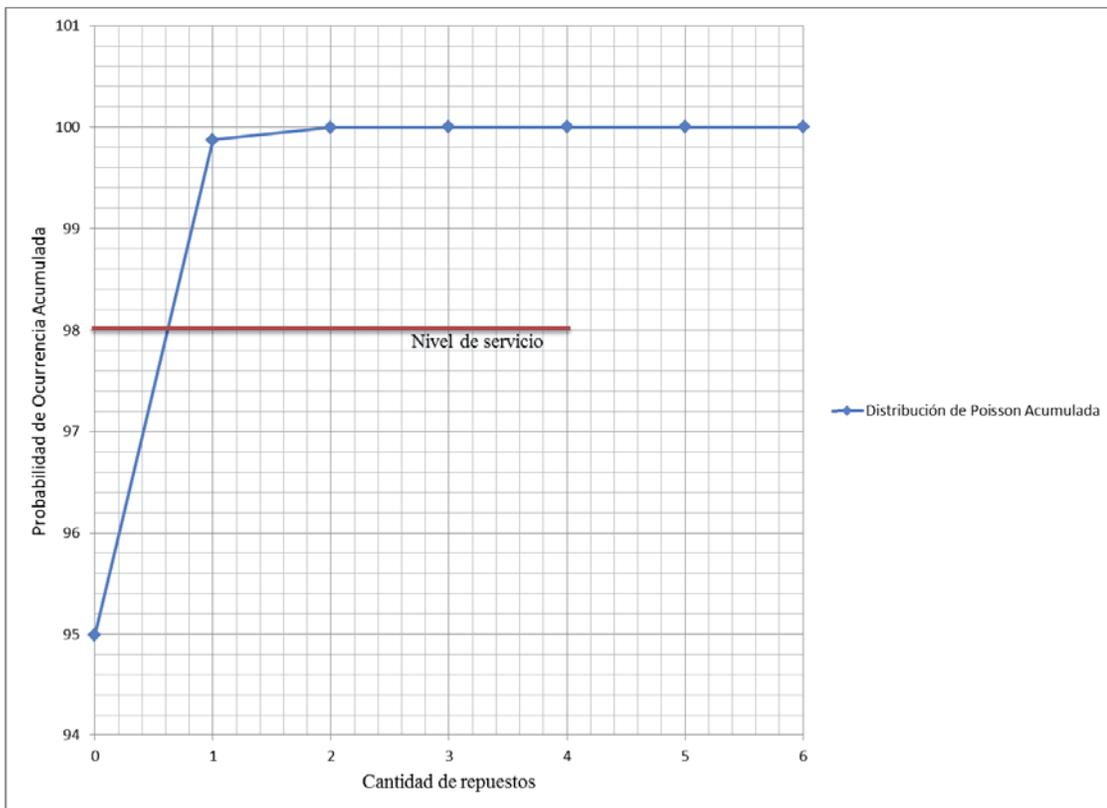


Figura N° 43: Distr.de Poisson Acumulada caso 2 Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

Este segundo caso como se logra apreciar en la tabla N° 18, posee un nivel de servicio de 98%, como se había visto anteriormente corresponde a un repuesto de criticidad B. La probabilidad de que ocurra 0 fallas funcionales en el periodo de tiempo que se demora en llegar el repuesto es de 94.9%, lo que comparado con el nivel de servicio no se logra

cumplir con los requerimientos establecidos por la empresa, al analizar la probabilidad de que de ocurra 1 falla funcional en el periodo de tiempo que se demora en llegar el repuesto es de 99.9%, es decir cumple con el nivel de servicio propuesto por la empresa, ver figura N° 43. El stock de seguridad en este caso es de al menos 2 unidades.

Para el caso 3:

Frecuencia de fallas [fallas/año]	Frecuencia de fallas [fallas/hora]	Tiempo entrega repuesto [Hr]	Nivel de servicio [%]	Cantidad de fallas funcionales	Distribución de Poisson	Probabilidad de Falla [%]	Distribución de Poisson Acumulada	Nivel mínimo [S-1]	Stock de seguridad [S]
3	0,000342091	650	99	0	0,80062784	80,06278404	80,062784	2	3
				1	0,17802685	17,80268529	97,8654693		
				2	0,01979294	1,97929417	99,8447635		
				3	0,00146705	0,146704663	99,9914682		

Tabla N° 19: Calculo caso 3 Stock de seguridad Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

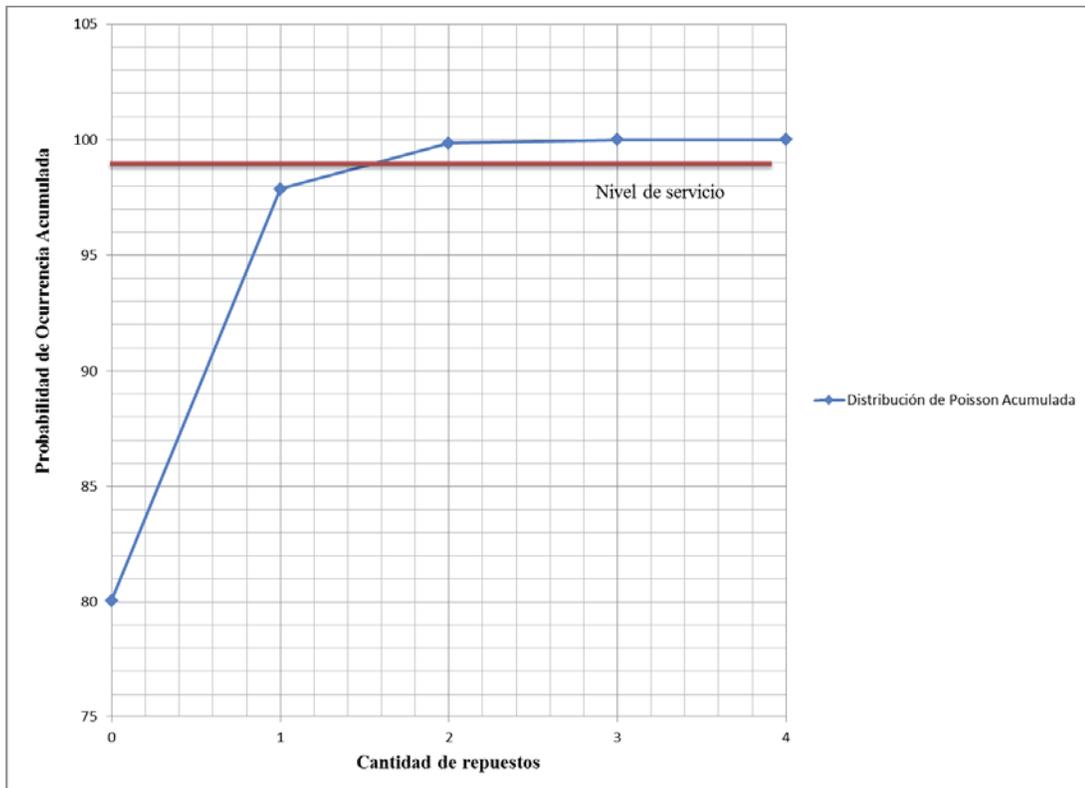


Figura N° 44: Distr. de Poisson Acumulada caso 3 Rodamiento [110]

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la tabla N° 19, en este tercer y último caso, la pieza de análisis está clasificada como A, lo que quiere decir que debe cumplir con un nivel de servicio de 99%, lo que se dio con al menos 2 piezas, ver figura N° 44, lo que se traduce como un stock de seguridad de al menos 3 piezas a mantener en bodega.

Cuando se calcula el stock de seguridad de 2 o más piezas de un mismo elemento, en donde dichas piezas se encuentran clasificadas como E/R, es decir, en caso de producirse o anticiparse a una falla funcional se reemplaza el elemento, es necesario realizar una comparación entre los valores obtenidos de stock de seguridad de cada pieza, para conservar el valor mayor obtenido entre las piezas clasificadas en E/R de un mismo elemento, entregando el valor mayor al área de abastecimiento.

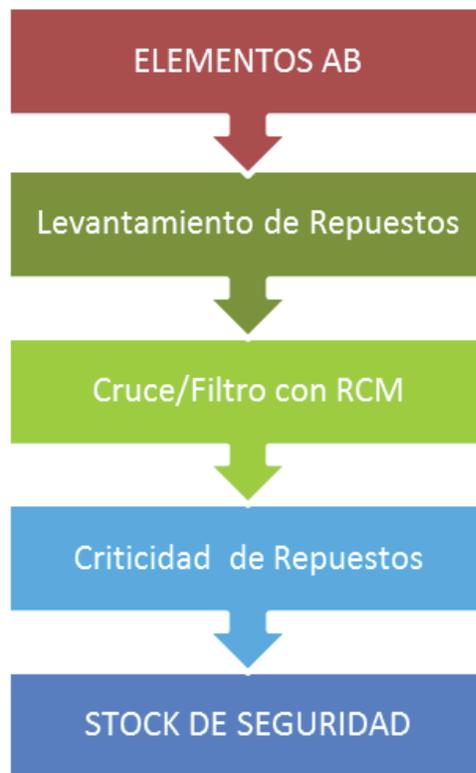


Figura N° 45: Diagrama de Finalización de Etapa

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIÓN

6. CONCLUSIÓN

La propuesta de Modelo de Gestión Estratégica de Repuestos Basada en Confiabilidad, permite interiorizarse en un área muy desconocida para las industrias desde el ámbito de mantenimiento, en donde existe poca o nula información al respecto, derribando barreras y produciendo alineamientos entre las diversas áreas que están involucradas.

El desarrollo del modelamiento conlleva la toma de decisiones a un nivel estratégico, favoreciendo y tomando en consideración las opiniones del personal que interactúa directamente con los equipos, permitiendo dar las pautas a seguir en caso de producirse una falla funcional en el elemento.

La realización de Análisis de criticidad al momento de la toma de decisiones, genera un respaldo y permite enfocar los esfuerzos y recursos a los elementos que realmente requieren ser gestionados, obteniendo resultados en un tiempo menor e impactando de mayor forma a la empresa.

Sin lugar a duda el definir niveles de stock desde el punto de vista de mantenimiento se convierte en un verdadero problema. El dar las herramientas que faciliten estos cálculos es bienvenido y valorado por el área de mantenimiento, apoyando de forma directa la forma en que se gestionan.

Este modelamiento se puede considerar el inicio de la reestructuración de la gama de repuestos para elementos clasificados en la categoría de criticidad de A y B, pero como se mencionó en las consideraciones, los elementos o piezas se trabajan de manera independiente uno de otro, es decir, es posible encontrar elementos o piezas de similares características técnicas trabajando de forma simultánea en las distintas áreas de la empresa, por lo que el modelo propuesto contempla resultados individuales a cada uno, debido a que las condiciones de operacionales son diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

7.1 BIBLIOGRAFÍA

algecirasalminuto. (11 de 06 de 2011). Recuperado el 29 de 11 de 2017, de algecirasalminuto: <http://www.algecirasalminuto.com/index.php/noticias/lo-mas-leido/11938-herido-un-operario-al-escorarse-un-buque-en-el-puerto>

alvaradoyduring. (s.f.). Recuperado el 03 de 03 de 2018, de alvaradoyduring: http://alvaradoyduring.com/essential_grid/terminal-maritimo-para-manejo-de-graneles-liquidos/

Crespo Márquez , A., & Parra Márquez, C. A. (07 de 2012). *books.google*. Recuperado el 25 de 10 de 2017, de books.google: books.google.cl/books?id=8xsnQ1aMg2gC&pg=PA59&lpg=PA59&dq=modelo+de+l+flujograma+de+criticidad+crespo+2007&source=bl&ots=IzS4kgU368&sig=m4Q2uwRIcYr_JfAqKUR00tqZDik&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjN0s24uIfeAhURi6wKHRIpBDAQ6AEwCnoECACQAQ#v=onepage&q=modelo%20del%20fl

depositofrancobilbao. (2009). Recuperado el 30 de 11 de 2017, de depositofrancobilbao: <http://www.depositofrancobilbao.com/solidos.html>

De Piño Brito, C. J. (2014). Optimización de Inventarios de Partes y Repuestos para el Mantenimiento (Parte II). *Predictiva 21*, 46.

directindustry. (s.f.). Recuperado el 03 de 03 de 2018, de directindustry: <http://www.directindustry.es/prod/friatec/product-13872-692923.html>

lavidaesunahistoriarca. (15 de 08 de 2014). Recuperado el 30 de 11 de 2017, de lavidaesunahistoriarca: http://lavidaesunahistoriarca.blogspot.com/2014/08/el-tren-de-la-vida_15.html?m=1

- Medina, J. L. (21 de 08 de 2016). *confiabilidadrcm*. Recuperado el 18 de 10 de 2017, de confiabilidadrcm: <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/08/21/paso-2-fallos-funcionales/>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II*. Lutterworth: Aladon Ltd.
- naut.blogcindario*. (15 de 01 de 2014). Recuperado el 30 de 11 de 2017, de naut.blogcindario: <https://naut.blogcindario.com/2014/01/00048-elementos-basicos-de-nomenclatura-nautica.html>
- nauticexpo*. (s.f.). Recuperado el 5 de 12 de 2017, de nauticexpo: http://www.nauticexpo.es/prod/nanjing-port-machinery/product-30649-190329.html#product-item_248292
- Parra, C. (2011). *confiabilidadoperacional*. Recuperado el 27 de 09 de 2017, de confiabilidadoperacional: <http://www.confabilidadoperacional.com/files/1318953321modelo%20jerarquizacion%20repuestos%20-%20RCC.pdf>
- SEW EURODRIVE. (11 de 2005). *sew-eurodrive*. Recuperado el 01 de 06 de 2018, de sew-eurodrive: <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11357703.pdf>
- sigu*. (s.f.). Recuperado el 05 de 12 de 2017, de sigu: <http://www.sigu.cl/pala-almeja.html>
- slideshare*. (29 de 03 de 2015). Recuperado el 23 de 08 de 2017, de slideshare: <https://es.slideshare.net/CI2015/metodologa-de-control-de-inventario-presentaciones-murcia-v4>
- solmarineoffshore*. (s.f.). Recuperado el 03 de 03 de 2018, de solmarineoffshore: <http://www.solmarineoffshore.com/servicios.html>
- tek-arg*. (s.f.). Recuperado el 03 de 03 de 2018, de tek-arg: <http://www.tek-arg.com/>
- Torres Rabello, R. (09 de 2010). *emb*. Recuperado el 15 de 05 de 2018, de emb: <http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=549>

Verduga Jara, F. J. (12 de 2014). *tecnicaindustrial*. Recuperado el 06 de 09 de 2017, de tecnicaindustrial: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-5430-determinacion-criticidad-componentes-maquina-o-proceso-analisis-rcm.aspx>

ANEXOS

8.1 ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

(Moubray, 2004, pág. 93)

HOJA DE
INFORMACIÓN
RCMII
© 1998 ALADON LTD

SISTEMA	Turbina a gas de 5MW	SISTEMA N°	216 - 05	Facilitador:	N Smith	Fecha	07 - 07 - 1998	Hoja N°	1
SUBSISTEMA	Sistema de Escape	SUBSISTEMA N°	216 - 05 - 11	Auditor:	P Jones	Fecha	07 - 08 - 1998	de	3

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
1 Conducir sin restricciones todos los gases calientes de la turbina hasta un punto fijado a 10 metros encima del techo de la sala de turbinas.	A. Incapaz de canalizar los gases	1 Montantes del silenciador corroidos	El ensamble del silenciador colapsa y cae al fondo del conducto. La contrapresión hace que la turbina se acelere violentamente y se pare a una alta temperatura de escape. Tiempo de parada de máquina para reemplazar el silenciador, hasta cuatro semanas.
	B. Flujo de gases restringido	1 Se desprende parte del silenciador por fatiga	Segun la naturaleza del atasco, la temperatura de escape puede subir hasta parar la turbina. Partículas de deshecho sueltas podrían dañar partes de la turbina. Tiempo de parada de máquina para reparar el silenciador, 4 semanas.
	C. No puede contener los gases	1 Se agujerea la junta flexible por corrosión	La junta flexible está dentro de la campana de la turbina, de modo que la mayor parte de la fuga de los gases de escape sería evacuada por el sistema de extracción de la campana. No es probable que los mecanismos existentes de detección de incendio y gases dentro de la campana detecten una fuga de gases de escape, y es improbable que la temperatura suba lo suficiente como para hacer disparar la alarma detectora de fuego. Una pérdida grave puede hacer que se sobrecaliente el separador de partículas sólidas y líquidas en los gases, así como fundir la alarma de control situada cerca de la fuga, con consecuencias imprevisibles. Los equilibrios de presión dentro de la campana son tales que es probable que poco, o ningún, gas pueda escapar por una fuga pequeña, de manera que es posible que no se detecte una fuga pequeña por el olfato o el oído. Tiempo de parada de máquina para reemplazar la junta, hasta 3 días.
		2 Junta del conducto colocada incorrectamente	Los gases se fugan al interior de la sala de turbinas y la temperatura ambiente sube. El sistema de ventilación de la sala de turbinas evacuaría los gases a través de las rejillas a la atmósfera, por lo cual se considera poco probable que la concentración de gases de escape alcance niveles nocivos. Una fuga pequeña en este punto puede ser audible. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 4 días.
2 Reducir el nivel de ruido del escape a Nivel de Ruido 30 de ISO, a 50 metros		3 Fuelle superior agujereado por corrosión	Los fuelles superiores están situados fuera de la sala de turbinas, de manera que los gases procedentes de una fuga aquí se dispersarían a la atmósfera. Puede que suba el nivel de ruido del ambiente. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 1 semana.
		1 Bulones de montaje de la chimenea de escape cortadas por oxidación	Probablemente la chimenea comienza a inclinarse, y sea sostenida por los cables de anclaje por un tiempo, antes de demurrarse. Si cayera, existe una gran posibilidad de que dañe una estructura ocupada por personas. Tiempo de parada de máquina para reparar, entre varios días y varias semanas.
	D. No puede transportar los gases a un punto situado a 10 metros encima del techo	2 Chimenea de escape demorada por vientos fuertes	La estructura del conducto está diseñada para soportar vientos de hasta 350 Km/h, por lo que solo tiene posibilidades de caerse durante una tormenta si los cables de anclaje han sido debilitados, quizá por corrosión. De ocurrir, podría caer sobre un módulo de viviendas. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta varias semanas.
		1 Malla de retención de material del silenciador corroida	La mayoría del material se volaría hacia afuera, pero es posible que parte de él caiga al fondo del conducto y obstruya la salida de la turbina, causando una alta temperatura de gases de escape y posible interrupción en el servicio de la turbina. Los niveles de ruido subirían progresivamente. Tiempo de parada de máquina para reparar, alrededor de 2 semanas.
		2 Fugas del conducto fuera de la sala de turbinas etc.

ANEXO 2: ADC LINEA DE DESCARGA DE GRANELES

Utilizando la fórmula de criticidad:

$$\text{Criticidad: Factor Ocurrencia de falla* Factor Consecuencias}$$

Donde el Factor Ocurrencia (FO) de Falla se obtiene directamente con la frecuencia de falla, ver Anexo 2.1 y el Factor Consecuencias (FC) corresponde a la suma del Factor Costo Pérdida por Demora (FCPD), ver anexo 2.2 y el Factor Costo Pérdida de Mantenimiento (FCPM), ver Anexo 2.3, obteniendo la expresión:

$$\text{Criticidad: FO*(FCPD+FCPM)}$$

El FCPD corresponde al tiempo de reparación por el costo involucrado en la pérdida de producción y el FCPM considera los costos de repuestos y mano de obra.

Al obtener el valor de criticidad se procede a clasificar según el método ABC, basado en Pareto, por lo que aquellos elementos que obtengan un valor de criticidad mayor al 80% del máximo obtenible se clasifican en A, siendo crítico, los que sean mayor o igual a 30% hasta el 80% se clasifican en B, lo que considera que es un elemento importante y por último los que se encuentren por debajo del 30% se clasifican en C, considerados comunes, ver Anexo 2.4.

ANEXO 2.1: TABLA DE FACTOR OCURRENCIA DE FALLA

Fuente: Puerto WSA

Factor Ocurrencia de Falla		
Ocurrencia del fallo	Frecuencia de Falla (fallas/horas)	FC
Muy alto	0,1	10
Alto	0,05	9
	0,02	8
	0,01	7
Moderado	0,002	6
	0,0005	5
	0,0001	4
Bajo	0,00001	3
	0,000001	2
Falla eliminada a través del control preventivo	0	1

ANEXO 2.2: FACTOR COSTO PÉRDIDA POR DEMORA

Fuente: Puerto WSA

Factor Costo Pérdida por Demora			
Calificación	Descripción	FCPD	Costo Pérdida por demora
Alto	1) Falla Funcional que genera costo de Pérdida por demora igual o sobre	9	\$ 100.000.000
Moderado	2) Falla Funcional que genera costo de Pérdida por demora entre	6	\$ 80.000.000
Medio	3) Falla Funcional que genera costo de Pérdida por demora entre	3	\$ 30.000.000
Bajo	4) Falla Funcional que genera costo de Pérdida por demora menor	1	\$ 1.000.000

ANEXO 2.3: FACTOR COSTO PÉRDIDA DE MANTENIMIENTO

Fuente: Puerto WSA

Factor Costo Pérdida de Mantenimiento			
Calificación	Descripción	FCPM	Costo Pérdida de Mantenimiento
Muy Alto	1) Falla Funcional que genera costo Pérdida de mantenimiento mayor a \$ 75.000.000	8	\$ 75.000.000
Alto	2) Falla Funcional que genera costo Pérdida de mantenimiento entre \$ 60.000.000 y \$ 75.000.000	6	\$ 60.000.000
Moderado	3) Falla Funcional que genera costo Pérdida de mantenimiento entre \$ 22.500.000 y \$ 60.000.000.	4	\$ 22.500.000
Bajo	4) El costo total esperado de mantenimiento se encuentra entre \$ 1.000.000 y \$ 11.250.000	2	\$ 11.250.000
Muy Bajo	5) Falla Funcional que genera costo Pérdida de mantenimiento inferior a \$ 1.000.000.	1	\$ 1.000.000

ANEXO 2.4: INTERVALOS DE CRITICIDAD

Fuente: Puerto WSA

Clasificación	%	Intervalos de Criticidad
A	$80\% < A < 100\%$	$136 < \text{Crit.} \leq 170$
B	$30\% \leq B \leq 80\%$	$51 \leq \text{Crit.} \leq 136$
C	$C < 30\%$	$\text{Crit.} < 51$

ANEXO 3: RCM A FAMILIA DE ELEMENTO

Fuente: Puerto WSA

Familia	Cód Familia	Nº Parte	Partes	Nº MDF	Modos de Falla	H	S	E	O	Tarea a Condición	Reacondicionamiento físico	Sustitución cíclica	H4	H5	H6	Nomenclatura Estratégica Específica	Tarea de Mantenimiento	Tarea de mantenimiento Ajustada	Nomenclatura	Condición Operacional	Frecuencia S=Semana M=Mes	Especialidad	Cabecera Pauta de Mantenimiento	Pauta de Mantenimiento	
Reductor	RED	1	Eje	1	Desalineamiento	N	NA	NA	NA	S							MPD	Análisis de Vibraciones Mecánicas	Vibraciones	AVM	SD	1M	Mecánico	MPD/AVM/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	2	Trabamiento	S	N	N	S	NA	NA	S					MCF	Inspección visual	Insp. Visual	IVI	SD	1M	Mecánico	MCF/IVI/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	3	Rotura	N	NA	NA	NA	S							MPD	Análisis de Vibraciones Mecánicas	Vibraciones	AVM	SD	1M	Mecánico	MPD/AVM/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	3	Rotura	S	N	N	S	NA	NA	S					MCF	Inspección visual	Insp. Visual	IVI	CD	12M	Mecánico	MCF/IVI/RED/12M/CD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	4	Deformación	N	NA	NA	NA	S							MPD	Análisis de Vibraciones Mecánicas	Vibraciones	AVM	SD	1M	Mecánico	MPD/AVM/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	5	Alta Temperatura	N	NA	NA	NA	S							MPD	Análisis Termográfico	Termografía	ATM	SD	1M	Mecánico	MPD/ATM/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	6	Desbalanceo	N	NA	NA	NA	S							MPD	Análisis de Vibraciones Mecánicas	Vibraciones	AVM	SD	1M	Mecánico	MPD/AVM/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	1	Eje	7	Desgaste	S	N	N	S	NA	NA	S					MPD	Análisis de Aceite Lubricante	Análisis Aceite	AAL	SD	1M	Mecánico	MPD/AAL/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	2	Engranajes	1	Desgaste del diámetro inicial / Diente roto	S	N	N	S	NA	NA	S					MCF	Inspección visual	Insp. Visual	IVI	CD	1M	Mecánico	MCF/IVI/RED/1M/CD/MEC	
Reductor	RED	2	Engranajes	1	Desgaste del diámetro inicial / Diente roto	S	N	N	S	NA	NA	S					MPD	Análisis de Vibraciones Mecánicas	Vibraciones	AVM	SD	1M	Mecánico	MPD/AVM/RED/1M/SD/MEC	
Reductor	RED	2	Engranajes	1	Desgaste del diámetro inicial / Diente roto	S	N	N	S	NA	NA	N	NA	NA	NA	S	MCB	Limpieza engranaje	Limpieza	LIM	CD	12M	Mecánico	MCB/LIM/RED/12M/CD/MEC	
Reductor	RED	2	Engranajes	1	Desgaste del diámetro inicial / Diente roto	S	N	N	S	NA	NA	N	NA	NA	NA	S	MTS	Sustitución Cíclica	Sust. Cíclica	SUC	CD	12M	Mecánico	MTS/SUC/RED/12M/CD/MEC	