

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUÉL CARRERA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A  
EQUIPO CRÍTICO EN ÁREA ZONA INTERMEDIA ENAP REFINERÍAS  
ACONCAGUA**

Trabajo de titulación para optar al  
título Profesional de Ingeniero de  
ejecución en MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL

Alumno:

Fabián Enrique Muñoz Ligeti

Profesor Guía:

Ing. Andrés Aranguiz Garrido

**2017**



## RESUMEN

**KEYWORDS:** ANÁLISIS FMECA- BOMBA CENTIFUGA J3336B- DIAGRAMA TOMA DE DECISIÓN RCM.

Enap Refinerías Aconcagua es el lugar donde se realiza este plan, específicamente en el Área de Zona intermedia o Movimiento de Producto, encargada de distribuir y almacenar tanto los crudos provenientes desde terminal marítimo de Quintero hacia las plantas de proceso, como los productos derivados de la destilación del petróleo.

Actualmente en esta área se trabaja con empresas contratistas encargadas del mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos rotativos, tales como bombas, agitadores, motores etc. y equipos estáticos tales como estanques, líneas y oleoductos.

Específicamente se centra en equipos rotativos, para lo cual se confecciona un modelo que lleva a priorizar entre los distintos equipos, basados en el tiempo perdido en detenciones por falla. Con la información obtenida tanto en SAP como en terreno y tomando información de los informes de mantenciones anteriores se logra definir los equipos más críticos.

En muchos casos las fallas de equipos se producen por cambios en las condiciones de operación por lo cual es muy importante obtener información certera de los procedimientos y condiciones operacionales, se debe tener en cuenta que muchos equipos se encuentran en servicio desde la fundación de la refinería por lo que es muy probable que los productos y condiciones desde ese entonces haya cambiado.

Teniendo claro el sistema priorizado se analizar mediante el proceso de RCM definiendo la funciones, de qué forma puede fallar la función (falla funcional), que causa que falle la función (modo de falla), que sucede cuando falla (efectos de falla), que ocurre si falla (consecuencias de la falla), que se puede hacer para prevenir que falle (tareas de mantenimiento) y por último que hacer si no se puede prevenir la falla (Acciones a falta de).

Toda esta información es evaluada en una hoja de decisión, mediante un diagrama de decisión que guía a través de preguntas que según la respuesta identifica una tarea o acción a seguir. La hoja de decisión es muy importante a la hora de elaborar un plan de mantenimiento, pues entrega información precisa de la función, fallas, tareas, ejecutante de las tareas, intervalos de tiempo y jerarquización.

Por último se realizan procedimientos, formatos de controles, check list e informes que permiten llevar una base de datos para gestionar el mantenimiento basado en confiabilidad.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES HISTÓRICOS; PROCESOS EN ESTUDIO Y PRIORIZACION DE EQUIPO CRITICO</b>	<b>3</b>
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y PROCESOS EN ESTUDIO	5
1.1.1. Enap Refinería Aconcagua (ERA)	5
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REFINACIÓN Y DISTRIBUCION DEL CRUDO	6
1.2.1. Fundamentos	6
1.2.2. Proceso de refinación del crudo	7
1.2.3. Proceso de distribución de crudos y productos terminados	8
1.3. SITUACION ACTUAL DIVISION MECANICA EQUIPOS ROTATIVOS	10
1.3.1. Generación de un aviso	10
1.3.2. Planificación y programación	10
1.3.3. Ejecución del programa	11
1.3.4. Organigrama división mecánica equipos rotativos	11
1.4. AREA EN ESTUDIO ZONA INTERMEDIA O MOVIMIENTO DE PRODUCTO	12
1.5. PRIORIZACIÓN POR FAMILIAS	14
1.6. ELABORACIÓN DE DIAGRAMA JACK KNIFE PARA ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE EQUIPO CRÍTICO	14
1.6.1. Recopilación de datos	14
1.6.2. Priorización de equipo crítico	15
<b>CAPÍTULO 2: ANALISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA EN BOMBA J-3336 B DE ZONA INTERMEDIA ENAP REFINERIAS ACONCAGUA</b>	<b>18</b>
2.1. MANTENIMIENTO	20
2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM	21

2.3.	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD FMECA	23
2.3.1.	Contexto operacional	23
2.3.2.	Análisis funcional SIPOC	24
2.3.3.	Modos de falla en bomba centrífuga J-3336 B	25
2.3.4.	Efectos de las fallas	26
2.3.5.	Consecuencias de la falla	28
 <b>CAPÍTULO 3: DIAGRAMA DE TOMA DE DECISIÓN RCM Y PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO</b>		<b>30</b>
3.1.	EL PROCESO DE DECISIÓN DE RCM	32
3.2.	AREAS DE MANTENIMIENTO	34
3.2.1.	Tarea a condición	34
3.2.2.	Tarea reacondicionamiento o sustitución cíclica	34
3.2.3.	Tarea correctiva	35
3.3.	TAREAS DE MANTENIMIENTO “A FALTA DE”	35
3.3.1.	Tarea de búsqueda de fallas	35
3.3.2.	Rediseño en el mantenimiento	36
3.4.	CALCULO DE NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGO (NPR)	36
3.5.	LLENADO DE HOJA DE DECISIONES BOMBA J-3336 B	38
3.6.	PLANIFICACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO	39
3.6.1.	Procedimiento para reparación de bomba centrífuga	39
3.6.2.	Formato chequeo dimensional	40
3.6.3.	Formatos de mantención preventiva	41
 <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>49</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>51</b>
ANEXO A: CRITERIOS DE EVALUACIÓN		53
ANEXO B: PROCEDIMIENTO EN MANTENCIÓN		55

### ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2-1.	Proceso de Slop aceite	25
Diagrama 3-1.	Diagrama de decisión	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Enap Refinerías Aconcagua	5
Figura 1-2.	Planta de procesos ENAP	6
Figura 1-3.	Flujo del crudo	9
Figura 1-4.	Flujo de la distribución y almacenaje de crudo y productos terminados	10
Figura 1-5.	Flujo de una orden	12
Figura 1-6.	Organigrama división mecánica	13
Figura 2-1.	Evolución del mantenimiento	22
Figura 2-2.	Proceso del RCM	24
Figura 2-3.	Primer modo de falla en Bomba J-3336 B	27
Figura 2-4.	Segundo modo de falla en Bomba J-3336 B	27
Figura 2-5.	Tercer modo de falla en Bomba J-3336 B	27

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Datos para elaboración de diagrama Jack knife	16
Tabla 2-1.	Relación Función, falla funcional y modo de falla	26
Tabla 2-2.	Relación de modos de falla con efectos de falla	28
Tabla 3-1.	Hoja de decisión	33
Tabla 3-2.	Relación entre hoja de información y hoja de decisión	34
Tabla 3-3.	Numero prioritario de riesgo	38
Tabla 3-4.	Hoja de decisiones del análisis	39
Tabla 3-5.	Chequeo de control dimensional bomba centrifuga	41
Tabla 3-6.	Pauta de trabajo Mantención preventiva de bombas centrifugas	43
Tabla 3-7.	Formato de informe técnico equipos rotativos	45

## INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-1.	Diagrama Jack Knife Bombas Zona Intermedia	18
--------------	--	----





## **INTRODUCCIÓN**

Debido a la gran importancia logística que posee para el funcionamiento de nuestro país, es que ENAP, debe velar por mantener sus instalaciones en óptimo estado de servicio para así proveer la energía proporcionada por sus productos para los distintos rubros de la industria, minería y transporte.

En lo que respecta al presente trabajo se dará una mirada a cómo funciona el mantenimiento en la división mecánica dependiente del departamento de mantención, en la cual su responsabilidad, es mantener en óptimo funcionamiento los equipos rotativos en las distintas áreas de proceso, de almacenamiento y distribución de hidrocarburos. Estos equipos rotativos son principalmente: bombas centrifugas, bombas reciprocas, motores eléctricos, turbinas a vapor, compresores centrífugos, compresores recíprocos, agitadores, Aero refrigerantes, ventiladores, entre otros.

En esta oportunidad se enfocará en un área específica de la planta correspondiente a la zona intermedia o movimiento de productos, esta área es la encargada de almacenar los productos crudos y refinados en estanques, así como también, su distribución a los distintos lugares que se requieran tanto a las áreas de proceso, como de oleoductos que llevan los distintos productos terminados hasta centros de distribución.

En esta área se encuentran distintos tipos de equipos rotativos tales como bombas reciprocas y centrifugas, agitadores, cintas oleofílicas y motores eléctricos. En la actualidad las labores de mantenimiento a estos equipos son realizadas por personal contratista a través de contratos que incluyen mantenciones preventivas y correctivas, bajo la tutela de un equipo de funcionarios de Enap encabezados por un Ingeniero de apoyo, un supervisor y un técnico inspector.

Si bien este contrato suscrito con empresa contratista da solución a las fallas que puedan producirse en el proceso, es evidente la falta de gestión de mantenimiento, pues no se tiene un antecedente duro que indique donde se debe comenzar para realizar recambio de equipos por horas perdidas en falla. Favorablemente Enap cuenta con una herramienta muy completa para realizar esta investigación como es el software de administración SAP. Esto dará las directrices para elaborar un criterio de prioridad, lo que sumado a distintas herramientas de gestión de mantenimiento llevará a la solución en cuanto a recambio de equipos se refiere.

Específicamente se definirán prioridades mediante diagrama Jack Knife y se aplicara FMECA al mal actor y se procederá a mencionar las tareas desprendidas del diagrama de decisión.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un plan de mantenimiento de equipo crítico centrado en confiabilidad, para Zona Intermedia, Enap Refinerías Aconcagua mediante RCM.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información técnica para identificación de malos actores en área Zona Intermedia mediante diagrama Jack Knife..
- Realizar un análisis de modos, efectos y criticidad en equipo para la creación de una matriz de mantención mediante FMECA.
- Generar pautas de mantención para estandarizar la mantención en equipos críticos como procedimientos, chequeos dimensionales e informes técnicos.

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES HISTÓRICOS; PROCESOS EN ESTUDIO  
Y PRIORIZACIÓN DE EQUIPO CRÍTICO**



# 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS; PROCESOS EN ESTUDIO Y PRIORIZACIÓN DE EQUIPO CRÍTICO

## 1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y PROCESOS EN ESTUDIO

### 1.1.1. Enap Refinería Aconcagua (ERA)

Inaugurada el 12 de noviembre de 1955, esta fue la primera refinería de ENAP y de Chile. Comenzó a operar sólo cinco años después de que se fundó ENAP, para procesar el crudo que se extraía en Magallanes. Se ubica en la Comuna de Concón, Quinta Región del país. Su mercado más importante es el de la Región Metropolitana de Chile, donde se ubica su capital Santiago.

La refinería Aconcagua es parte de ENAP Refinerías S. A, que nace en enero del año 2004, tras la fusión de las refinerías Petrox, RPC y EMALCO. Tiene una capacidad de procesamiento aproximado de 11.000 m<sup>3</sup>/día, se ubica en la comuna de Concón, Quinta Región a orillas del Río Aconcagua, desde el cual se extrae la cantidad de agua necesaria para el enfriamiento de algunas unidades de producción, retornándola con las mismas características en las cuales se obtuvo del río (Figura 1-1.)



Fuente: Archivos ENAP

Figura 1-1. Enap Refinerías Aconcagua

En la figura 1-1. Se muestra la refinería de petróleo de Aconcagua la que cuenta actualmente con instalaciones terrestres y marítimas en el Puerto de Quintero, junto con

una red de oleoductos entre Quintero y Concón. De este modo, esta refinería abastece el 40 % del mercado nacional con combustibles de alta calidad que responden a los más exigentes estándares nacionales e internacionales.

Los productos más relevantes que produce Refinería Aconcagua son: Gas Licuado, Gasolinas, Kerosenes, Petróleos Diésel, Petróleos Combustibles, Productos Industriales y otros. Estos productos, son consumidos principalmente en el mercado nacional y también, en el marco del proceso de internacionalización de Enap, parte de ellos son enviados a los mercados regionales de Sudamérica y Centro América.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REFINACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CRUDO

### 1.2.1. Fundamentos

El petróleo crudo es un líquido aceitoso, inflamable, cuyo color varía de incoloro a negro y está formado por una mezcla de hidrocarburos, llamados así por estar constituidos principalmente por carbono e hidrógeno, con porciones de azufre, oxígeno y nitrógeno, además de trazas de algunos metales pesados dependiendo de su origen, y que para ser utilizado en las diferentes ramas de la industria y en los motores de combustión, debe sufrir una serie de tratamientos diversos en diferentes plantas procesadoras. Se puede observar, en la figura 1-2 una planta de refinación en la cual se destila el crudo



Fuente: Archivos ENAP

Figura 1-2. Planta de procesos ENAP

### 1.2.2. Proceso de refinación del crudo

Para destilar el petróleo crudo, se le hace circular por haces de tubos dispuestos en forma de serpentín, colocados en un horno de pared refractaria.

El producto alcanza los 300° C – 400° C y comienza a destilar, sus fracciones ascienden a lo largo de una alta torre de fraccionamiento.

Las temperaturas de la torre de fraccionamiento, son más elevadas en la parte inferior que en la superior; en el interior de la torre hay un gradiente térmico, por lo tanto los hidrocarburos más volátiles y ligeros, de punto de ebullición bajo, se condensan en los platillos superiores a una temperatura de 37° C – 38° C aproximadamente; la gasolina se licua o condensa en los platillos cuya temperatura está comprendida entre 70° C y 140° C.

Los productos residuales que no se evaporan se condensan y recogen en el fondo de la torre.

El residuo de la destilación primaria es calentado en un horno y la mezcla de líquido y vapor que se forma, se hace pasar por una columna.

Cada uno de los productos refinados, constituye una fracción de aceite lubricante de la cual se obtienen, mediante refinación, los aceites lubricantes acabados.

El producto no evaporado en el horno, se recoge en el fondo de la columna y puede ser usado como asfalto.

Las fracciones más ligeras, salen por la parte más alta de la columna en forma de vapor y pasan a través de un condensador o enfriador.

En el proceso de desintegración térmica, el residuo proveniente de la destilación primaria del petróleo crudo ligero es sometido a alta temperatura y presión, para convertir parte del aceite pesado en productos ligeros de más valor, como gasolina y gas-oíl (diésel). La desintegración térmica se denomina también reformación térmica de la gasolina.(cracking)

Otro proceso empleado, es la desintegración catalítica para convertir destilados pesados en gasolina de alta calidad, usando altas temperaturas y un catalizador.

Las ventajas principales del proceso de desintegración catalítica sobre el proceso térmico, son su mayor rendimiento en gasolina y mejor calidad.



Fuente: Archivos de ENAP

Figura 1-3. Flujo del crudo

### 1.2.3. Proceso de distribución de crudos y productos terminados

El proceso de distribución cuenta con una extensa red logística para traer los crudos a la refinería y a la vez llevar los productos terminados desde la refinería a los centros de consumo.

Este proceso de distribución usa instalaciones y vehículos para el transporte y almacenamiento. El crudo llega a través de los terminales marítimos en buques cisterna y es almacenado en estanques, desde ahí se distribuye por oleoductos hasta las refinerías.

En las refinerías existe un área en este caso llamada Área de Movimiento de producto o Zona Intermedia que recibe el crudo en estanques y lo distribuye al área de proceso mediante estaciones de bombeo por oleoductos.

Una vez refinado el crudo se reciben los combustibles y almacenan en estanques los cuales están conectados a estaciones de bombeo con poliductos. Los poliductos son sistemas de cañerías destinados al transporte de hidrocarburos o productos terminados. A diferencia de los oleoductos convencionales dedicados exclusivamente al transporte de petróleo crudo.

A través de los poliductos pueden trasladarse principalmente kerosene, combustibles para aviación, gasolinas, diesel y gases. El transporte se realiza en ciclos sucesivos. Sucede normalmente que un poliducto de grandes dimensiones contenga cuatro o cinco productos diferentes en distintos puntos de su recorrido, que son entregados en la terminal de recepción. Para esta operación se programan los envíos: las presiones y la velocidad de desplazamiento de cada producto son controladas por medio de centros de computación. A condición de que se cumplan ciertas normas, el nivel de mezcla de los sucesivos productos que pasan por el poliducto alcanza sólo a pocas decenas de metros cúbicos. Esto permite recuperar esta mínima fracción que pasó por el poliducto como producto de menor calidad, sin que se afecte la calidad final del producto. A continuación en la figura 1-4 se grafica el proceso de distribución y almacenaje de crudo.



Fuente: Elaboración propia en base a proceso de empresa

Figura 1-4. Flujo de la distribución y almacenaje de crudo y productos terminados

### **1.3. SITUACIÓN ACTUAL DIVISIÓN MECÁNICA EQUIPOS ROTATIVOS**

Hoy en día en la división mecánica equipos rotativos se trabaja con un plan de mantenimiento que incluye mantenciones preventivas, y correctivas.

Como se ve en la figura 1-5 el proceso de la gestión del mantenimiento se regula a través de órdenes de trabajo que siguen un ciclo, desde su generación a su cierre, todo esto controlado a través del programa SAP implementado en la organización.

Estas órdenes pueden ser generadas tanto por una falla imprevista como por el programa de mantenimiento preventivo.

Existe mantenimiento preventivo mensual, semestral, anual y bianual.(anexo). Los equipos críticos y más complejos como compresores y bombas de carga son mantenidos exclusivamente por técnicos Enap, además de la totalidad de equipos de procesos a excepción de Aero refrigerantes que son mantenidos por empresas contratistas.

Los equipos de Zona intermedia y terminal Quintero son mantenidos en su totalidad por empresas contratistas.

Una vez a la semana se realiza una reunión en donde participan los supervisores y los inspectores de contrato encabezados por el programador de la división y de la empresa contratista. En esta reunión se programan los trabajos y mantenciones preventivas de la semana entrante. Las distintas actividades son sacadas del registro de avisos generados por operaciones mediante el sistema SAP. Dependiendo de la criticidad del equipo se arma un programa factible de ser cumplido, aquellos avisos que no revisten gran importancia o son inviables de realizar son enviados a un Backlog.

#### **1.3.1. Generación de un aviso**

Cuando se detecta una posible necesidad de mantenimiento o modificación, el operador efectúa un aviso donde debe constar la fecha del mismo, la descripción de la necesidad detectada, la ubicación técnica del equipo y una posible causa de la anomalía en cuestión. Aún en esta etapa no se ha generado una orden de trabajo.

#### **1.3.2. Planificación y programación**

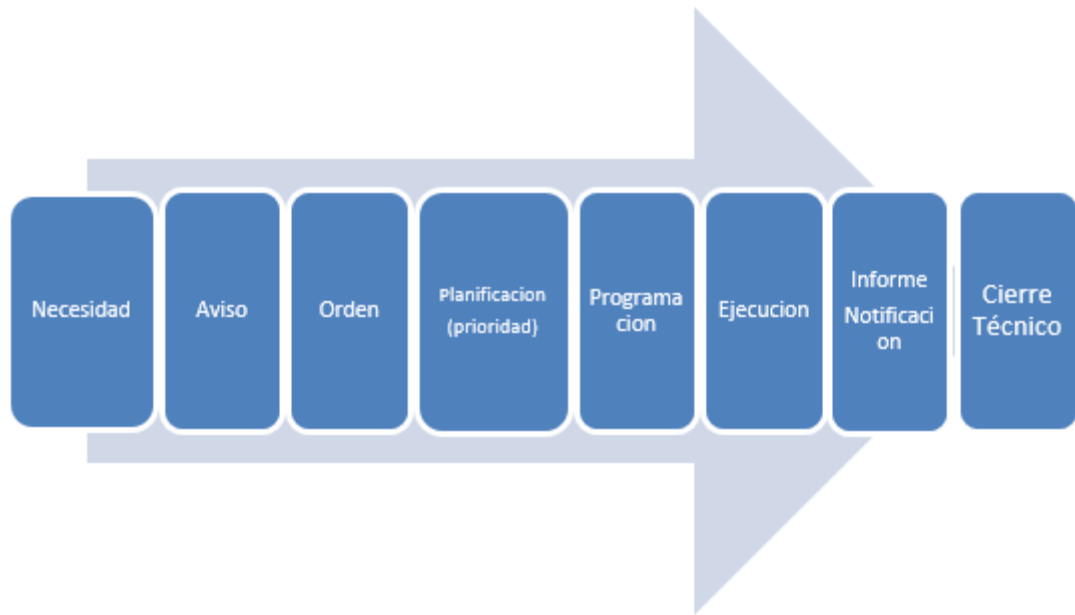
Una vez efectuado el aviso, este es tomado por planificación. Acá se traspasa al programador de la división el cual genera la orden y subórdenes a las distintas especialidades que puedan ser requeridas para la realización del trabajo.

Además, a la orden se le confiere una prioridad dependiendo de la criticidad del equipo que va desde emergencia inmediata, urgencia en 24 horas hasta normal programable.

### 1.3.3. Ejecución del programa

El inspector y supervisor Enap recibe el programa el día lunes y es él quien coordina con operaciones la entrega del equipo.

Después de cumplir con los protocolos de bloqueo del equipo, se entrega el permiso de trabajo a quien ejecutará el trabajo, ya sea Técnico Enap o Supervisor Empresa contratista. Terminada la jornada se realiza el cierre de permiso total o parcial, en caso de término total se cierra el protocolo de bloqueo y se entrega el equipo a operaciones, en caso de término parcial se mantiene bloqueo y continúa al día siguiente.



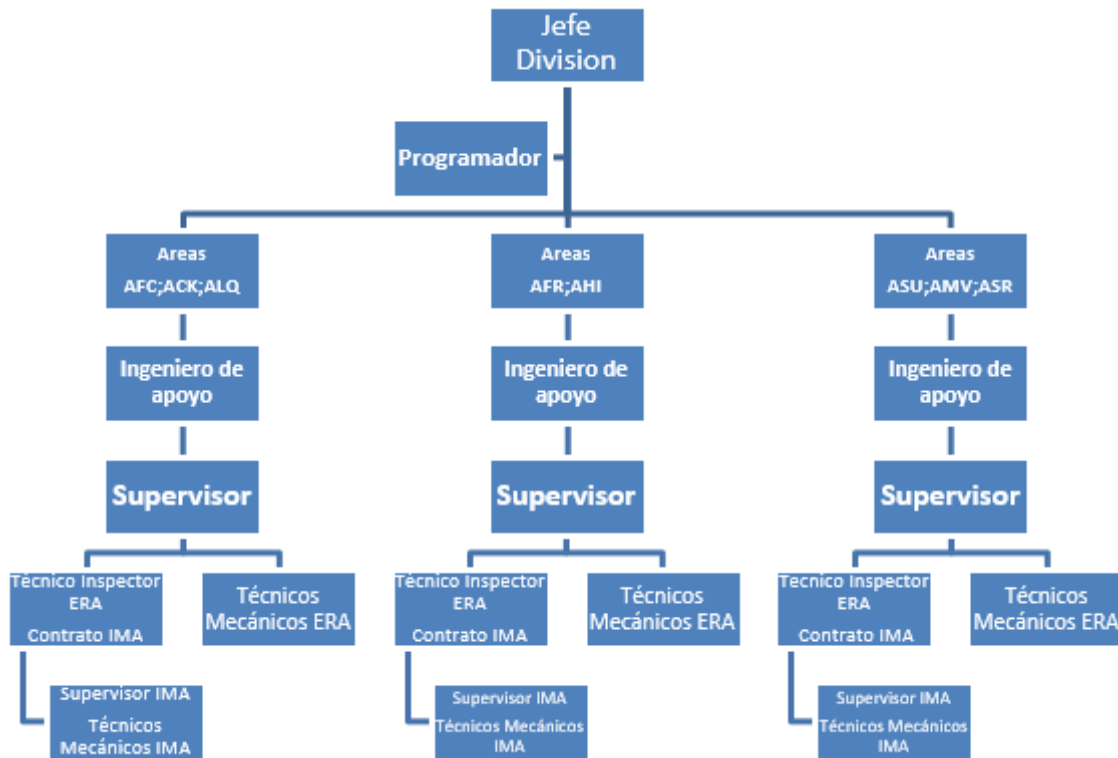
Fuente: Elaboración propia en base a orden de empresa

Figura 1-5. Flujo de una orden

### 1.3.4. Organigrama división mecánica equipos rotativos

La división está dividida en tres partes cada una responsable de distintas áreas de la refinería encabezadas todas por un jefe de división. Cada parte tiene un ingeniero de apoyo, un supervisor, un técnico inspector y 6 técnicos mecánicos todos funcionarios

de Enap. Además se cuenta con el apoyo de empresas contratistas para labores de lubricación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctiva.



Fuente: Elaboración propia en base a organización de división

Figura 1-6. Organigrama división mecánica

#### 1.4. ÁREA EN ESTUDIO ZONA INTERMEDIA O MOVIMIENTO DE PRODUCTO

El área en estudio corresponde a la Zona Intermedia o de Movimiento de producto la cual, ha sido postergada en el tiempo, a lo que renovación de equipos y tecnologías se refiere, y se ha transformado en un verdadero problema el hecho de que muchos de los equipos en servicio actualmente no cuentan con un stock de repuestos, esto lleva a tener un tiempo mayor de los equipos en taller, ya que en muchos casos es necesario fabricar repuestos, recuperar frames y carcasas que no se encuentran el mercado actualmente.

Otro problema es la inexistencia de un registro de las distintas modificaciones que se realizan en los equipos intervenidos anteriormente por lo cual muchos se encuentran fuera de norma o con reparaciones “parche” que revisten una situación

subestandar que podría terminar en un incidente con consecuencias importantes tanto para las instalaciones como para las personas.

Esta obsolescencia provoca muchas fallas que no permiten realizar el programa de mantenciones preventivas.

En relación al mantenimiento en el área de zona intermedia, esta se realiza de forma íntegra por el contrato suscrito con la empresa contratista, el cual es programado, supervisado e inspeccionado por funcionarios Enap. El contrato incluye mantenciones preventivas periódicas que se van incorporando al programa semanal, cada semana se programan mantenciones mensuales que consisten en rutas de inspección por el área realizando observaciones a un grupo de equipos seleccionados de un universo de 850 entre bombas centrifugas y reciprocas, agitadores y cintas oleofílicas. En estas inspecciones se visualizan posibles fugas de producto o lubricantes, se toman temperaturas de los distintos componentes del equipo con un pirómetro y en general se observa cualquier síntoma que pueda estar produciendo una falla que pueda terminar en la detención del equipo (ruidos, filtraciones, etc.). Toda la información recabada es pasada a un informe de trabajo el cual es revisado y firmado por el inspector Enap, en caso de requerir una intervención del equipo, es el mismo inspector quien realiza el aviso SAP correspondiente al programador, quien coordina las distintas especialidades para realizar el trabajo en el programa de acuerdo a la necesidad.

También se realiza una mantención preventiva semestral, en este caso se requiere bloqueo del equipo, por lo cual es importante la coordinación con operaciones para la entrega del equipo con bloqueo eléctrico y contra válvula con el respectivo protocolo que es firmado tanto por el inspector Enap como por el supervisor de empresa contratista. Este trabajo consiste en realizar cambios de aceites; revisión y reparación de acoples y cubre acoples; ajustes, reaprietes, cambio y alineamiento de componentes tales como correas, poleas, cadenas, piñones, etc.; limpieza y pintura de componentes; detección y control de fugas por conectores, tapas, uniones americanas, tapones etc. Una vez realizado este trabajo se procede a retirar los bloqueos correspondientes y su entrega a operaciones. Al igual que en las mantenciones preventivas mensuales se elabora un informe, por parte del técnico responsable, en donde se da a conocer el alcance del trabajo realizado y se deja constancia de algún trabajo mayor que requiera el desmontaje del equipo para su programación. Este informe es revisado y firmado por el supervisor del técnico y el inspector Enap del contrato.

En lo que respecta a las mantenciones correctivas que surgen de fallas imprevistas en los equipos, estas se gatillan por parte de operaciones a través de un aviso de emergencia dirigido a división de planificación, acá se derivan las emergencias a los distintos puesto de trabajos de las distintas divisiones en forma inmediata y programan para la semana siguiente aquellos trabajos de menor prioridad.

## **1.5. PRIORIZACIÓN POR FAMILIAS**

Para encontrar el equipo crítico lo primero que se hace es priorizar por familia de equipos, en zona intermedia existen distintas familias de equipos y las clasificaremos de la siguiente manera:

Bombas, Familia de equipos que desplazan fluido en donde se encuentran bombas centrífugas y bombas recíprocas, entendiendo que este tipo de equipos irá ligado a su fuente de energía y máquina que le permite hacer el trabajo (motor eléctrico, turbina a vapor) bajo el mismo TAG .

Agitadores, Familia de equipos cuya función principal es agitar fluido en los estanques para mantener homogeneidad en la materias primas y productos terminados, asociado siempre a un motor eléctrico bajo el mismo TAG.

Cinta oleofílica, Equipo consistente en un mecanismo de rodillos accionado por un motor eléctrico por donde se hace pasar una cinta que tiene la particularidad de absorber hidrocarburos para almacenarlos en estanques para su reproceso.

Teniendo estas tres familias de equipos se evalúa por importancia en los procesos, bajo este criterio y considerando que la función principal del área en estudio es desplazar fluidos, es que se considera y enfoca como equipos críticos a la familia de las bombas.

## **1.6. ELABORACIÓN DE DIAGRAMA JACK KNIFE PARA ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE EQUIPO CRÍTICO**

### **1.6.1. Recopilación de datos**

Entrando en materia a lo que el presente trabajo se refiere, la recopilación de datos se obtiene del sistema SAP implementado en ENAP, para esto, se elabora una base de datos que considera el número de avisos y las notificaciones finales de las ordenes gatilladas de estos avisos, en un lapso de tiempo que contempla los 10 últimos años, otros datos que se consideraron fueron la denominación del equipo o TAG.

Es importante mencionar que los avisos en estudio corresponden a una prioridad M1 que significan solicitudes de trabajos de urgencia y emergencia.

La base de datos se enfoca en TAG de bombas (considerando la importancia de estos equipos en el proceso por sobre los demás), tomando en cuenta la cantidad de fallas representada por el número de avisos y la duración de la falla reflejada en la

notificación de la orden, con estos datos es posible construir una planilla Excel que permite realizar los cálculos de MTTR, Tiempo acumulado y Disponibilidad.

A continuación en la figura 1-7 se muestra planilla Excel resultante de la recopilación de datos.

Tabla 1-1. Datos para elaboración de diagrama Jack knife

										-2,23	-1,18				
Denominación	Cant. De Fallas	Suma de hh	Tiempo %	Tiempo Acumulado	MTR (horas)	Lim Cant.	Lim MTR	ISO Disponibilidad 70 % (hh)	ISO disponibilidad 90% (hh)	MTTR (horas)	ISO 70%	MTTR (horas)	ISO 90%		
BOMBA JB4020	9,00	71,00	9,29	9,29	7,89	6,59	7,02	49,59	50,29	18,67	2,66	0,00			
BOMBA JB3213C	6,00	67,00	8,77	18,06	11,17	6,59	7,02	49,59	50,29	14,00	3,54	0,00			
BOMBA JB3336B	7,00	59,00	7,72	25,79	8,43	6,59	7,02	49,59	50,29	13,00	3,81	0,00			
BOMBA JB3002C	3,00	56,00	7,33	33,12	18,67	6,59	7,02	49,59	50,29	12,50	3,97	0,75	67,06		
BOMBA JB4002A	5,00	44,00	5,76	38,87	8,80	6,59	7,02	49,59	50,29	12,00	4,13	1,00	50,29		
BOMBA JB5730A	8,00	41,00	5,37	44,24	5,13	6,59	7,02	49,59	50,29	12,00	4,13	1,00	50,29		
BOMBA JB3151D	7,00	39,00	5,10	49,35	5,57	6,59	7,02	49,59	50,29	11,17	4,44	1,00	50,29		
BOMBA JB 4010	10,00	28,00	3,66	53,01	2,80	6,59	7,02	49,59	50,29	10,00	4,96	1,00	50,29		
BOMBA JB3323B	3,00	27,00	3,53	56,54	9,00	6,59	7,02	49,59	50,29	9,00	5,51	1,00	50,29		
BOMBA JB3323A	2,00	25,00	3,27	59,82	12,50	6,59	7,02	49,59	50,29	9,00	5,51	1,00	50,29		
BOMBA JB4001A	2,00	24,00	3,14	62,96	12,00	6,59	7,02	49,59	50,29	8,80	5,64	1,00	50,29		
BOMBA JB3230	3,00	21,00	2,75	65,71	7,00	6,59	7,02	49,59	50,29	8,50	5,83	1,50	33,53		
<b>BOMBA JB4011</b>	<b>5,00</b>	<b>18,00</b>	<b>2,36</b>	<b>68,06</b>	<b>3,60</b>	<b>6,59</b>	<b>7,02</b>	<b>49,59</b>	<b>50,29</b>	<b>8,43</b>	<b>5,88</b>	<b>1,50</b>	<b>33,53</b>		
<b>BOMBA JB3212A</b>	<b>2,00</b>	<b>17,00</b>	<b>2,23</b>	<b>70,29</b>	<b>8,50</b>	<b>6,59</b>	<b>7,02</b>	<b>49,59</b>	<b>50,29</b>	<b>8,00</b>	<b>6,20</b>	<b>2,00</b>	<b>25,15</b>		
BOMBA JB4016	2,00	14,00	1,83	72,12	7,00	6,59	7,02	49,59	50,29	8,00	6,20	2,00	25,15		
BOMBA RECIRCULACIÓN DE FANGOS J-3614 B	1,00	14,00	1,83	73,95	14,00	6,59	7,02	49,59	50,29	7,89	6,29	2,00	25,15		
BOMBA CENTRIF. SEPARADORA LODOS J-3617 A	4,00	14,00	1,83	75,79	3,50	6,59	7,02	49,59	50,29	7,00	7,08	2,00	25,15		
BOMBA JB3325B	4,00	14,00	1,83	77,62	3,50	6,59	7,02	49,59	50,29	7,00	7,08	2,00	25,15		
BOMBA JB5733A	1,00	13,00	1,70	79,32	13,00	6,59	7,02	49,59	50,29	7,00	7,08	2,00	25,15		
BOMBA JB4004B	1,00	12,00	1,57	80,89	12,00	6,59	7,02	49,59	50,29	6,00	8,26	2,25	22,35		
BOMBA JB3303A	3,00	12,00	1,57	82,46	4,00	6,59	7,02	49,59	50,29	6,00	8,26	2,50	20,12		
BOMBA JB4010A	4,00	12,00	1,57	84,03	3,00	6,59	7,02	49,59	50,29	6,00	8,26	2,50	20,12		
BOMBA JB1102A	3,00	12,00	1,57	85,60	4,00	6,59	7,02	49,59	50,29	6,00	8,26	2,67	18,86		
BOMBA JB3325C	1,00	10,00	1,31	86,91	10,00	6,59	7,02	49,59	50,29	5,57	8,90	2,80	17,96		
BOMBA TRANSF. SELECTOR AEROBIO J-3609 A	3,00	10,00	1,31	88,22	3,33	6,59	7,02	49,59	50,29	5,13	9,68	3,00	16,76		
<b>BOMBA JB4025A</b>	<b>3,00</b>	<b>10,00</b>	<b>1,31</b>	<b>89,53</b>	<b>3,33</b>	<b>6,59</b>	<b>7,02</b>	<b>49,59</b>	<b>50,29</b>	<b>5,00</b>	<b>9,92</b>	<b>3,00</b>	<b>16,76</b>		
<b>BOMBA JB215A</b>	<b>1,00</b>	<b>9,00</b>	<b>1,18</b>	<b>90,71</b>	<b>9,00</b>	<b>6,59</b>	<b>7,02</b>	<b>49,59</b>	<b>50,29</b>	<b>5,00</b>	<b>9,92</b>	<b>3,00</b>	<b>16,76</b>		
BOMBA JB4014	3,00	9,00	1,18	91,88	3,00	6,59	7,02	49,59	50,29	5,00	9,92	3,00	16,76		
BOMBA JB4013	4,00	9,00	1,18	93,06	2,25	6,59	7,02	49,59	50,29	4,00	12,40	3,00	16,76		
BOMBA TRANSF. A FILTROS DE ARENA J-3612B	1,00	8,00	1,05	94,11	8,00	6,59	7,02	49,59	50,29	4,00	12,40	3,00	16,76		
BOMBA AUX.	1,00	8,00	1,05	95,16	8,00	6,59	7,02	49,59	50,29	4,00	12,40	3,00	16,76		
BOMBA JB5731B	3,00	8,00	1,05	96,20	2,67	6,59	7,02	49,59	50,29	4,00	12,40	3,00	16,76		
BOMBA JB4001B	2,00	8,00	1,05	97,25	4,00	6,59	7,02	49,59	50,29	4,00	12,40	3,00	16,76		
BOMBA JB3211B	2,00	7,00	0,92	98,17	3,50	6,59	7,02	49,59	50,29	4,00	12,40	3,00	16,76		
BOMBA JB5732B	1,00	7,00	0,92	99,08	7,00	6,59	7,02	49,59	50,29	3,60	13,77	3,00	16,76		
BOMBA JB3557A	2,00	7,00	0,92	100,00	3,50	6,59	7,02	49,59	50,29	3,50	14,17	3,00	16,76		
<b>Totales</b>	<b>122</b>	<b>764</b>													

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados

### 1.6.2. Priorización de equipo crítico

Para la selección del equipo crítico es necesario tener en cuenta distintos criterios que ayuden a determinar con certeza el impacto que pueda producir en el proceso el mal actor, los criterios empleados generalmente son:

Frecuencia de falla: Son las veces que falla cualquier componente del sistema que lleve a la detención del equipo.

Impacto operacional: Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

Nivel de producción manejado: Es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.

Tiempo de duración de la falla: es el tiempo para reparar la falla.

Costo de reparación: Costo de la falla

Impacto en seguridad: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

Impacto ambiental: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

Tomando en cuenta los criterios citados se deduce que existen por lo menos 6 equipos con una cantidad de fallas importante, que sumado al tiempo de reparación, da un parámetro para hacer la primera selección, ya que se encuentran en el cuadrante Crónico Grave graficado en el diagrama Jack Knife representado en la Figura 1-8.

De este grupo de equipos se toma solo uno para confeccionar el plan de mantenimiento, para llegar a esta selección se consideran el resto de criterios anteriormente expuestos, entonces se toma cada uno de los equipos en cuestión y se determina su importancia en el proceso y los impactos que provoca al fallar.

Descripción de función de equipos:

JB-3213 A: Bomba centrífuga vertical cuya función es desplazar gas propano propileno desde zona intermedia a patio de carga de camiones.

Al existir cuatro equipos disponibles para esta función de los cuales generalmente se encuentran tres en servicio, es que no reviste un gran problema para operaciones entregarlo a mantenimiento a causa de alguna falla o mantención preventiva.

JB-4002 : Bomba centrífuga vertical cuya función es desplazar Slop agua desde pozo API hacia estanques de reposo y segmentación, de estos estanques se recuperan hidrocarburos que vuelven a proceso separándolos de aguas tóxicas que van a planta de fenoles para su limpieza y evacuación.

JB-3336 B: Bomba centrífuga horizontal cuya función es desplazar slop aceite (mezcla de hidrocarburos sin especificación provenientes del proceso) a reproceso. Existe solo una unidad para realizar este trabajo lo que la convierte en un equipo muy crítico en caso de falla ya que el Slop proveniente de proceso debe seguir almacenándose, perdiendo capacidad de almacenar productos terminados.

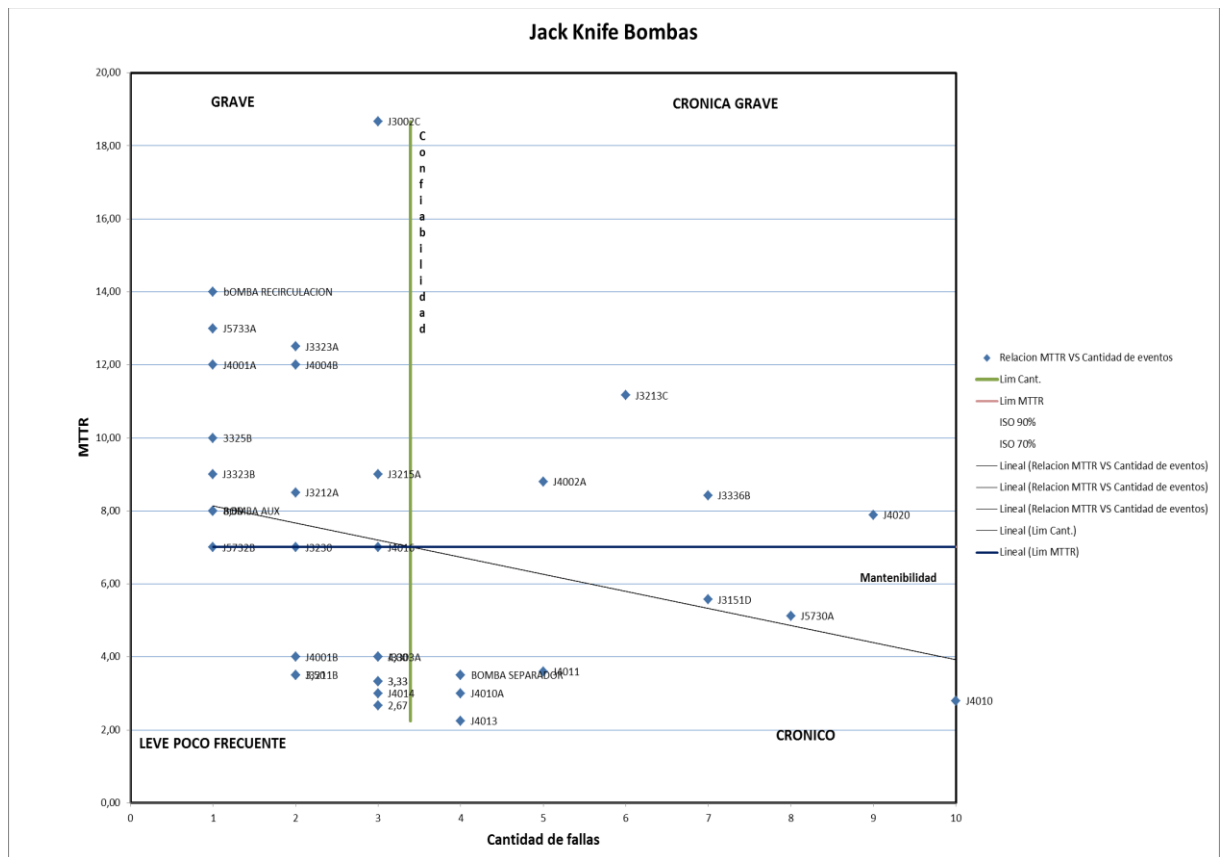
J 4020: Bomba centrífuga vertical utilizada para evacuar aguas lluvias desde separador de aceite y evitar así desbordes que puedan terminar en emergencia ambiental, equipo crítico en días de lluvia.

JB-3151 D: Bomba de tornillos cuya función es desplazar crudo desde estanques de zona intermedia a zonas de proceso, existen cuatro bombas que realizan esta función por lo cual es muy factible de mantener en caso de falla sin interrumpir el normal proceso.

JB-5730 A: Bomba centrífuga horizontal que tiene como función principal adicionar fenolitos al proceso de tratamiento de riles. Esta bomba tiene un impacto directo en el medio ambiente, ya que los fenolitos son bacterias encargadas de limpiar

aguas contaminadas con hidrocarburos para su posterior evacuación. Existen dos bombas que cumplen esta función disminuyendo el riesgo de emergencia ambiental en caso de falla.

Considerando los antecedentes anteriormente expuestos se determina como equipo crítico a la bomba centrífuga denominada con el TAG JB 3336 B, ya que tiene un impacto en la operación al disminuir el porcentaje de producción en caso de falla y además la capacidad de producción al verse limitada la capacidad de almacenar productos terminados.



Fuente: Elaboración propia en base a diagrama realizado

Grafico 1-1. Diagrama Jack Knife Bombas Zona Intermedia

**CAPITULO 2: ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE  
FALLA EN BOMBA J-3336 B DE ZONA INTERMEDIA ENAP REFINERIAS  
ACONCAGUA**



## **2. ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA EN BOMBA J-3336 B DE ZONA INTERMEDIA ENAP REFINERÍAS ACONCAGUA**

### **2.1. MANTENIMIENTO**

Se puede definir el mantenimiento como la aplicación de técnicas para conservar equipos e instalaciones, esperando de éstas la máxima disponibilidad.

A través de la historia ha existido una evolución constante de estas técnicas producto de la industrialización y el aumento en los volúmenes de producción como muestra la figura 2-1.

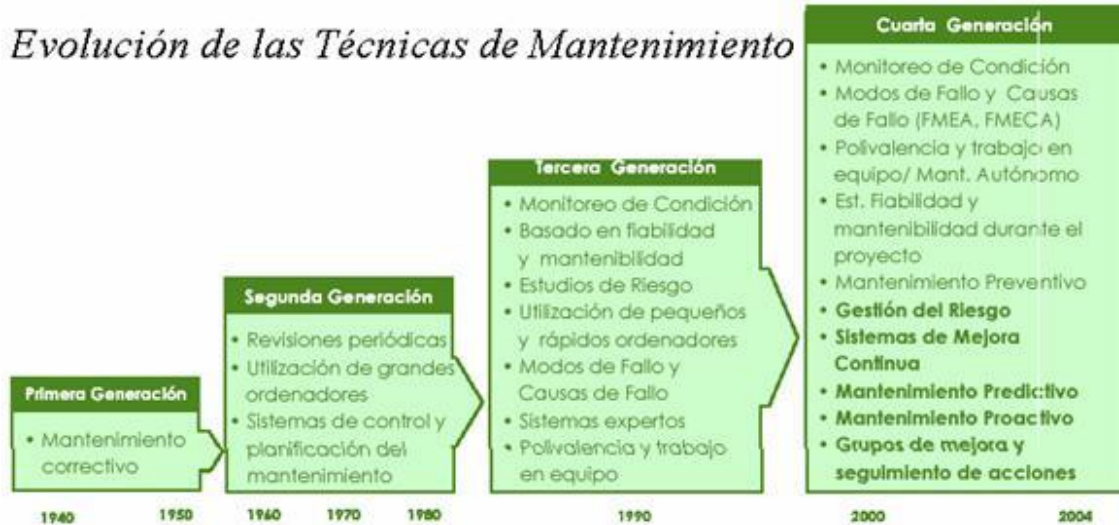
En sus comienzos solo se limitaba a la reparación de equipos cuando estos fallaban, no había una intención de prevenir las fallas sino hasta la próxima generación post segunda guerra mundial en donde se propone que las fallas pueden ser prevenidas y se comienza a implementar sistemas de mantenimiento tendientes a maximizar la vida útil de los activos. No fue hasta la década de los setenta (Tercera generación), en donde hubo un aumento considerable en los volúmenes de producción donde tomo relevancia aplicar el mantenimiento a los costos de producción por no disponibilidad de activos y además el cuidado a las personas y medio ambiente.

En el nuevo milenio se comienza a desarrollar la cuarta generación del mantenimiento que logra un aumento en la disponibilidad, seguridad, cuidando del medio ambiente y calidad de los productos debido a factores como la mantención predictiva que aumento la mantenibilidad, la gestión de activos y la estandarización (ISO 55000).

En la actualidad se puede decir que el mantenimiento posee distintas estrategias tendientes a minimizar el costo global del mantenimiento. La reactiva es la que no debería existir y obliga a paradas imprevistas con sus consiguientes costos, tenemos la mantención preventiva basada en el tiempo, busca bajar tasas de falla a través de intervenciones periódicas a una frecuencia optima, inspecciones y reemplazo de piezas.

El mantenimiento predictivo muestra una evolución en la condición de la máquina detectando y diagnosticando problemas que ayudan al análisis de síntomas que los equipos emiten para así programar el momento preciso en donde intervenir, esto ha significado un aumento en disponibilidad, tiempo medio entre falla y confiabilidad.

Finalmente se tiene el mantenimiento proactivo en donde se controla la condición y reevalúa el diseño para eliminar causas raíz y lograr un funcionamiento óptimo.



Fuente: ugmamantenimiento1201

Figura 2-1. Evolución del mantenimiento

## 2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM

Se define como un proceso que permite identificar aquellos factores que deben cambiarse para asegurar el correcto desempeño de sus funciones a un elemento físico en el contexto operacional de un sistema determinado.

La relación entre una organización y los elementos físicos que la componen es el centro del RCM, tomando especial relevancia la comunicación entre las distintas áreas para aunar criterios y conseguir la información precisa que determine la función específica de cada elemento permitiendo continuidad al proceso productivo.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento extendiéndolos a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, cuidado del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento están definidos, el paso siguiente es identificar como puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Luego es preciso identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función, cuando se realiza este paso es importante identificar la causa raíz de cada falla y llevarla a un listado.

Los efectos de falla son los síntomas que se evidencian cuando ocurre una falla y para cada modo de falla puede existir uno o más efectos de falla asociados.

Cuando se hayan determinado todos los factores anteriormente mencionados en cada elemento del sistema, es necesario cuantificar el impacto de cada falla, la razón es que las consecuencias de cada falla indican si se necesita o no tratar de prevenirlos y con qué fuerza debemos tratar de encontrar la falla.

Existen consecuencias no evidentes que si bien no tienen gran impacto exponen al sistema a fallas de mayor envergadura a menudo catastróficas, por esto el RCM trata este tipo de fallas con alta prioridad adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento. Las consecuencias de seguridad y medio ambiente ponen a las personas y al medio por sobre la problemática de producción.

Además existen las consecuencias operacionales que afectan directamente a la producción por lo cual cuestan dinero y lo que cuesten sugiere cuanto gastar en prevenirlas y están las consecuencias no operacionales que no afectan ni la producción ni la seguridad por lo que el costo se limita a su reparación.

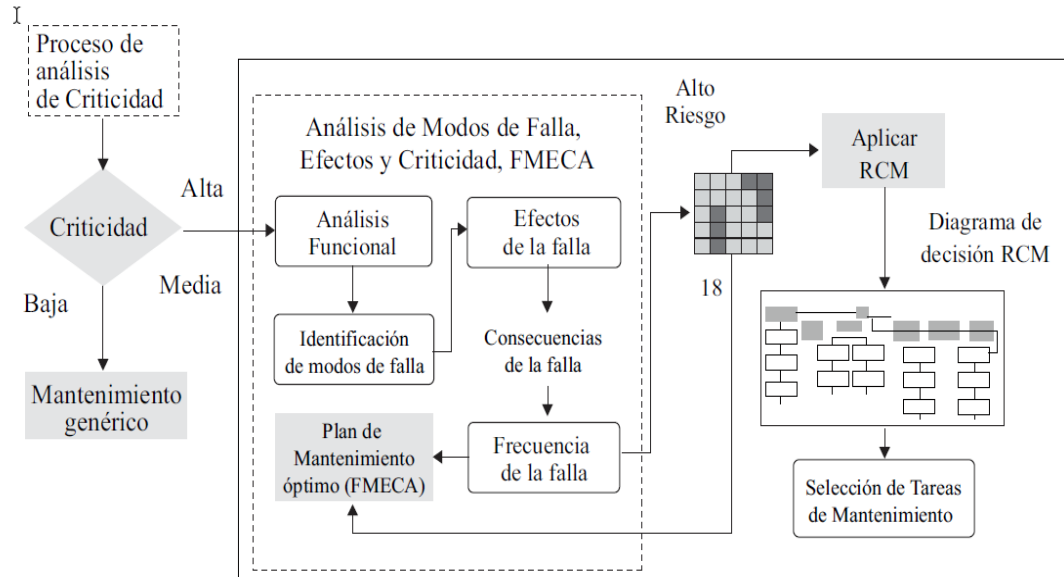
El RCM considera tres tareas de mantenimiento preventivo tendientes a mejorar al máximo la disponibilidad de los elementos del sistema, estas son:

Tarea A condición busca encontrar aquellas advertencias que indican que una falla está por ocurrir a través de técnicas que identifican una falla funcional permitiendo su intervención programada antes que ocurra una falla funcional, los elementos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

Tareas de reacondicionamiento cíclico y de sustitución cíclica se refieren a aquellas tareas hechas a intervalos fijos independiente del estado del elemento o componente.

Tarea a la falla obliga a reparar el elemento una vez sufrida una falla, es solamente justificado si el costo de la falla (directo e indirecto) es menor que el costo de la prevención, esta acción es solo válida en caso que no tenga consecuencias para seguridad y medio ambiente en caso contrario es obligatorio hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias de la falla.

En la figura 2-2 se observa cómo se desarrolla el proceso de RCM desde la priorización de equipo crítico pasando por el FMECA, diagrama de decisión, hasta la selección de tareas de mantenimiento.



Fuente: Tecnol. Ciencia Ed. (IMI) vol. 25 núm. 1, 2010.

Figura 2-2. Proceso del RCM

## 2.3. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD FMECA

### 2.3.1. Contexto operacional

El sistema en estudio se llama retroalimentación de Slop aceite desde Zona Intermedia a Áreas de Proceso específicamente Topping 2.

Este sistema recibe Slop aceite desde todas las plantas de proceso de refinación, este producto es acumulado en pozos existentes en las plantas haciendo a la vez de trampa para estos aceites contenidos generalmente en gases que son quemados en la antorcha de la refinería, estos productos son derivados del proceso debido a maniobras operacionales de trasvasije cuando se cambia la producción de un producto a otro, cuando se necesitan lavar circuitos con productos más livianos o cuando se entrega algún equipo a mantenimiento debiendo vaciar dicho equipo a estos pozos de acumulación.

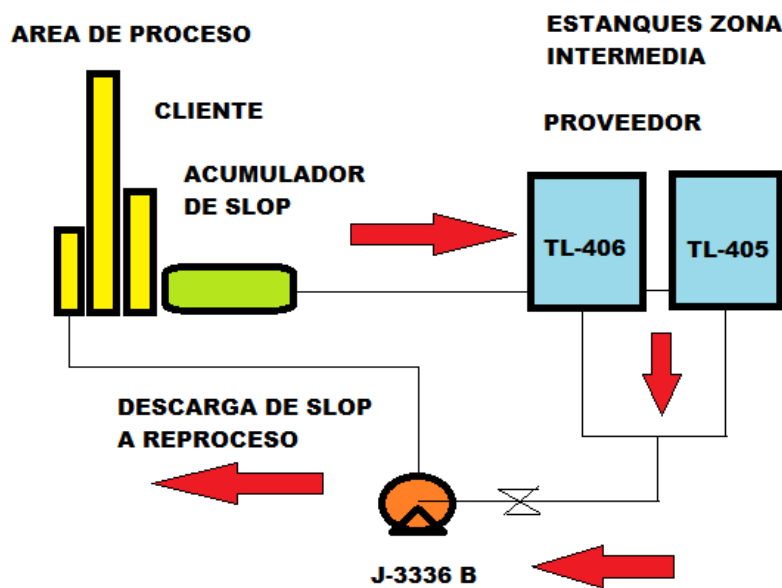
Desde estos acumuladores se desplaza el slop aceite hasta estanques dispuestos en zona intermedia identificados con el TAG TL-406 para este fin, la cantidad de slop desplazado a estos estanques puede llegar a los 300 m<sup>3</sup> día, una vez ahí es preciso incorporarlos nuevamente al proceso para esto se ocupa una bomba centrifuga horizontal denominada con el TAG J-3336B la cual debe inyectar el slop aceite a la alimentación

del crudo que llega al horno, el volumen que debe ser adicionado al crudo no supera los 10 m<sup>3</sup>/hora y la presión del sistema al que entra el slop es de 2 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.3.2. Análisis funcional SIPOC

En la el diagrama 2-1. se observa el proceso de retroalimentación de Slop Aceite, en este diagrama el Cliente es el área de proceso, la cual abastece los estanques de Zona intermedia identificados con los TAG TL-406 y TL-405 (proveedor) respectivamente. Estos estanques tienen una capacidad de almacenamiento de SLOP de 300 m<sup>3</sup> cada uno y están constantemente recibiendo este producto desde el área de proceso.

Este producto es necesario volverlo a incorporar como materia prima al proceso de refinación, para esto es desplazado desde los estanques proveedores J-406 y J-405 por una bomba centrífuga horizontal denominada con el TAG J-3336 B marca “EBARA” de origen Japonés cuyo caudal máximo es 2,31 m<sup>3</sup>/min a una velocidad de 2980 rpm y una altura de 158,7 m. siendo su función principal inyectar el Slop a la línea de alimentación de crudo al horno de Topping 2 a razón de entre 5 a 10 m<sup>3</sup>/Hr. entrando a un sistema cuya presión es de 2 Kg/cm<sup>2</sup>. Como función secundaria esta bomba debe contener el líquido impidiendo el contacto de este con la atmosfera. Vale decir que esta bomba es accionada por un motor eléctrico trifásico de 150 HP, 2975 RPM y un consumo de 155 A. a una frecuencia de 50Hz.



Fuente: Elaboración propia en base a proceso

Diagrama 2-1. Proceso de Slop aceite

### 2.3.3. Modos de falla en bomba centrífuga J-3336 B

Modo de falla se define como la incapacidad de un elemento para cumplir su función y va estrechamente ligado a la falla funcional, para tener una visión clara de esta relación se confecciona una tabla en donde se identifican los distintos modos de fallas a partir de una falla funcional.

En la Tabla 2-1 se observa la relación entre la función, la falla funcional y el modo de falla en sistema de bombeo de Slop Aceite J-3336 B. Más abajo en la figura 2-3, 2-4 y 2-5 se puede ver el daño producido en distintos componentes, ahí se aprecia un eje y rodamientos fundidos, un impulsor desgastado, y una voluta con desgaste.

Tabla 2-1. Relación Función, falla funcional y modo de falla

Sistema de bombeo de Slop Aceite J-3336 B				
	Función		Falla funcional	Modo de falla
1	Desplazar Slop Aceite desde estanque proveedor J-406 y J-405 a Topping 2 a razón de 20 m <sup>3</sup> /h	A	Incapaz de desplazar Slop Aceite	1 Eje cortado 2 Acoplamiento cortado 3 Motor eléctrico quemado 4 Rodamientos fundidos 5 Impulsor atascado con elemento extraño
		B	Bomba desplaza menos caudal al requerido	1 Juego excesivo en anillos de desgaste 2 Impulsor desgastado 3 Voluta desgastada 4 Impulsor obstruido.
2	Contener el Slop Aceite al interior de la voluta	C	Incapaz de contener el Slop Aceite al interior de la voluta	1 Ruptura de empaquetadura del sello mecánico 2 Ruptura de caras de sellado en sello mecánico 3 Ruptura de empaquetadura de voluta 4 Ruptura de voluta

Fuente: Elaboración propia en base a fallas



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 2-3. Modo de falla en Bomba J-3336 B eje y rodamientos fundidos



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 2-4. Modo de falla en Bomba J-3336 B impulsor desgastado



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 2-5. Modo de falla en Bomba J-3336 B voluta con desgaste.

#### 2.3.4. Efectos de las fallas

Para cada Modo de falla indicamos los efectos de falla asociados. El efecto de falla es el síntoma que permite decidir la importancia de cada falla, por lo tanto que nivel de mantenimiento es necesario aplicar. En definitiva la fallas se hacen notar a través de distintas formas tales como Altas vibraciones, bajo o alto nivel, alta o baja temperatura, alto o bajo amperaje en el consumo del motor eléctrico, ruidos, etc.

En la Tabla 2-2 se pueden ver los distintos efectos producidos por los modos de falla identificados anteriormente en la bomba J-3336 B.

Tabla 2-2. Relación de modos de falla con efectos de falla

Sistema de Bomba de Slop Aceite J-3336 B			
	Modo de falla		Efectos de falla
1	Eje cortado	1	Motor alarma bajo consumo
		2	Sube nivel de estanque proveedor
2	Acoplamiento cortado	1	Motor alarma bajo consumo
		2	Sube nivel de estanque proveedor
3	Motor eléctrico quemado	1	Motor despide humo y olor a quemado.
		2	Sube nivel de estanque proveedor
4	Rodamientos fundidos	1	Motor opera por alto amperaje y alarma en sala de operadores
		2	Se detecta alta temperatura en caja de rodamientos por bajo nivel de lubricante
		3	Sube nivel de estanque proveedor
		4	Particulado metálico en el lubricante
5	Impulsor atascado con elemento extraño	1	Motor opera por alto amperaje y alarma en sala de operadores
1	Juego excesivo en anillos de desgaste	1	Aumento de temperatura en voluta por recirculación de producto
		2	Motor opera por alto amperaje y alarma en sala de operadores
2	Impulsor desgastado	1	Vibración de equipo por desbalanceo
		2	Motor alarma bajo consumo
		3	Sube nivel de estanque proveedor
3	Voluta desgastada	1	Aumento de temperatura en voluta por recirculación de producto
		2	Vibración por cavitación producto de la gasificación del producto
1	Ruptura de empaquetadura del sello Mecánico	1	Fuga visible de producto Slop
2	Ruptura de caras de sellado en sello mecánico	1	Fuga visible de producto Slop
3	Ruptura de empaquetadura de voluta	1	Fuga visible de producto Slop
4	Ruptura de voluta	1	Fuga visible de producto Slop

Fuente: Elaboración propia en base a las fallas

### 2.3.5. Consecuencias de la falla

Las consecuencias de cada falla son evaluadas en el siguiente capítulo a través del “diagrama de decisión”, cada encabezado lleva a preguntas tendientes a evidenciar las consecuencias y los pasos a seguir dependiendo de la respuesta.

A continuación se describen consecuencias producto de fallas en J-3336 B

#### **Consecuencias a la seguridad y medio ambiente**

Daño a las personas en caso de fuga de producto a la atmosfera coincidiendo con alguna bolsa de gas sulfhídrico contenida en el producto.

El gas sulfhídrico es altamente toxico por lo que dependiendo de su concentración puede producir mareos y vómitos hasta la muerte por envenenamiento.

Al tratarse de un producto compuesto por una serie de hidrocarburos sin especificación y con trazas de ácidos sulfhídricos se convierte en un agente contaminante de alto riesgo en caso de fuga por falla en sello mecánico, sin embargo existe todo un plan de contingencia tendiente a minimizar los daños conteniéndolos en las instalaciones y reenviándolos a áreas de proceso.

#### **Fallas ocultas**

Para el análisis de las funciones ocultas se requiere al menos de cuatro elementos de información para determinarlos intervalos de búsqueda de falla, la evidencia de falla busca determinar si la falla funcional producida por el modo de falla resulta evidente para el operador en condiciones normales, generalmente en la bomba J-3336 B la falla no resulta evidente para el operador o no sabe entender por ejemplo el alza de temperatura en la voluta , en el término circunstancias normales se debe evaluar de forma sensata las condiciones en que funciona el sistema teniendo claro cuando se encuentra en condiciones normales, por ejemplo si la voluta esta con alta temperatura sería sensato parar el equipo y evaluar que sucede, sin embargo, el operador pone una manguera con agua para mantener “condiciones normales de operación” esto podría llevar a un modo de falla catastrófico. La probabilidad tolerable de una falla múltiple es un riesgo que hay que asumir y debe ser establecido por un grupo compuesto por los involucrados de operaciones y mantenimiento, incluso por representantes de gerencia.

#### **Consecuencias operacionales**

Dependiendo del grado de daño en los componentes de la bomba en una falla, se determinan las consecuencias que puedan traer a la producción de la refinería, generalmente la bomba resulta bastante dañada llegando a estar un par de días en reparación lo que para refinería y en específico este equipo es bastante, pues, sube rápidamente el nivel de los estanques llegando incluso ocupar estanques destinados a otros productos para recibir el Slop Aceite.



**CAPITULO 3: DIAGRAMA DE TOMA DE DECISIÓN RCM Y**  
**PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO**



### 3. DIAGRAMA DE TOMA DE DECISIÓN RCM Y PLANIFICACION DEL MANTENIMIENTO

#### 3.1. EL PROCESO DE DECISIÓN DE RCM

En la Tabla 3-1 se muestra una hoja de decisión de RCM en la cual se registra:  
 El tipo de mantenimiento que haremos, con qué frecuencia y quien lo ejecutará.  
 Se identifica las fallas suficientemente serias como para plantear un rediseño.  
 Además de casos en que deliberadamente se deja que las fallas ocurran.

Para llenar esta hoja se toma en cuenta lo realizado en el capítulo anterior relacionando la función (F), con la falla funcional (FF) y el modo de falla (MF), anotando los dígitos o letras que correspondan como se muestra en la Tabla 3-2.

Tabla 3-1. Hoja de decisión

Sistema de retroalimentación Slop aceite A Áreas de proceso																		
Subsistema de bombeo de Slop Aceite desde Estanque Proveedor a Área de Proceso Top. 2																		
Referencia información			Evaluación consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tareas Propuestas		Intervalo Inicial		A Realizarse por	
							S1	S2	S3									
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4						

Fuente: elaboración propia en base a decisión

Tabla 3-2. Relación entre hoja de información y hoja de decisión

Sistema de bombeo de Slop Aceite J-3336 B															
Función			Falla funcional			Modo de falla									
1	Desplazar Slop Aceite desde estanque proveedor J-406 y J-405 a Topping 2 a razón de 20 m3/hr		A	Incapaz de desplazar Slop Aceite			1	Eje cortado							
						2	Acoplamiento cortado								
						3	Motor eléctrico quemado								
						4	Rodamientos fundidos								
						5	Impulsor atascado con elemento extraño								
Sistema de retroalimentación Slop aceite A Áreas de proceso															
Subsistema de bombeo de Slop Aceite desde Estanque Proveedor a Área de Proceso Top. 2															
Referencia información			Evaluación consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tareas propuestas	Intervalo inicial	A realizarse por
			S1	S2	S3	O1	O2	O3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1													
1	A	2													
1	A	3													

Fuente: Elaboración propia en base a decisión

Las columnas siguientes se refieren y llenan con las respuestas a las preguntas del diagrama de decisión RCM de la figura 3-1.

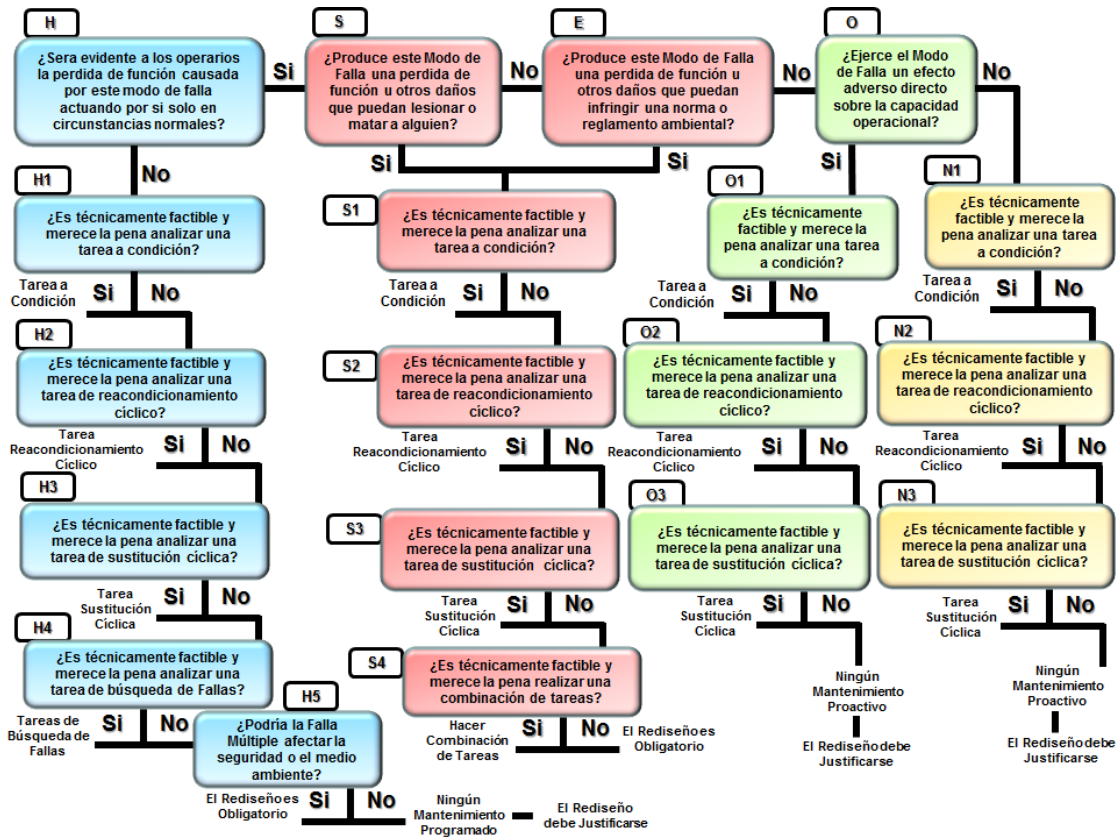
Las columnas tituladas H,S,E,O y N se refieren a las respuestas a las preguntas que tienen que ver con las consecuencias de cada modo de falla.

Las tres columnas siguientes H1,H2,H3,etc. registran las tareas proactivas que hayan sido seleccionadas y si así fuese qué tipo de tarea.

Las respuestas a la preguntas “a falta de que” son registradas en las columnas H4, H5 y S4.

En la columna de “Tarea Propuesta” se registra la tarea seleccionada (si la hay), también se registran los casos en los que se requiere rediseño y los casos en que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

En las columnas siguientes se registra el intervalo de tiempo en que se realizara la tarea y por último en la columna de A realizarse por, se identifica la especialidad competente que realizará la tarea.



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

Diagrama 3-1. Diagrama de decisión

### 3.2. AREAS DE MANTENIMIENTO

#### 3.2.1. Tarea a condición

Las tareas a condición o mantenimiento correctivo consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla ante que ocurra, en el caso de una bomba centrífuga, por ejemplo se pueden controlar las vibraciones y temperatura de la caja de rodamientos para evitar una falla antes que la falla funcional ocurra.

Estas tareas incluyen: inspecciones visuales periódicas (ej. Fugas, desgaste evidente, etc.), monitoreo (ej. Vibraciones, ultrasonido), chequeos (nivel de lubricante, temperatura, etc.).

#### 3.2.2. Tarea reacondicionamiento o sustitución cíclica

Estas tareas están enmarcadas en el contexto del mantenimiento preventivo y se refiere a sustitución o reparaciones hechas a intervalos de tiempo fijos independientes

del estado del elemento. Estas tareas son válidas solo si existe un patrón de desgaste, es decir si la probabilidad de falla aumenta después de cumplida la vida útil del elemento. Estas tareas deben ser seleccionadas con mucho tino, no confundir “se puede hacer” con “conviene hacer”, por ejemplo, al evaluar un plan de mantenimiento a realizar sobre el impulsor de una bomba centrífuga podríamos decidir realizar una tarea preventiva (sustitución cíclica del impulsor), tarea que en general se puede hacer dado que la falla responde a un patrón de desgaste, sin embargo quizá convendría realizar una tarea predictiva o una tarea de búsqueda de fallas.

### 3.2.3. Tarea correctiva

Este tipo de tarea es válida cuando el costo de la falla es menor que el costo de la prevención o cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva (preventiva o predictiva) y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Si por el contrario la falla arrastra consecuencias de seguridad y al medio ambiente se descarta inmediatamente considerando hacer algo para evitar o eliminar las consecuencias de la falla.

## 3.3. TAREAS DE MANTENIMIENTO “A FALTA DE”

### 3.3.1. Tarea de búsqueda de fallas

El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurar que estos dispositivos brinden la protección necesaria para el funcionamiento esperado del sistema.

En el mantenimiento de búsqueda de falla no se previene, repara, ni predice una falla, acá se realiza una prueba funcional y revisan todos los factores que llevan a un correcto funcionamiento, identificando por lo general anomalías en la operación que pueden producir una falla e instalando algún dispositivo que mantenga las condiciones óptimas o detenga el sistema en caso de operación anómala, por ejemplo podría forzarse una cavitación en un bomba y esperar a que un dispositivo detenga el sistema o active una alarma al registrar las vibraciones que produce el fenómeno.

### 3.3.2. Rediseño en el mantenimiento

En la mayoría de las empresas los cambios de diseño suelen sobrepasar la capacidad de la empresa de llevar a cabo estos cambios. Por lo tanto, debe existir un filtro que permita distinguir aquellos casos en el que el rediseño es justificado y recomendado, de aquellos que no lo son. Es por esto que para aquellos casos en que se requiera un rediseño para evitar la falla, es conveniente evaluar previamente si existe alguna otra forma de manejar las fallas sin necesidad de realizar cambios en el diseño. Además debe tenerse en cuenta que los cambios de diseño conllevan costos y tiempos asociados y no siempre se sabe con certeza si serán eficaces en solucionar las consecuencias de las fallas. Por ejemplo en una bomba centrífuga podría justificarse si las consecuencias de las fallas se deben a un sobredimensionamiento o sub dimensionamiento del equipo que lo hacen primero producir fallas funcionales que derivan en modos de falla generalmente ocultos.

### 3.4. CÁLCULO DE NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGO (NPR)

El NPR es un número que se calcula basándose en la información que se obtiene respecto a:

- Los modos de la falla potenciales
- Los efectos
- La capacidad actual del proceso para detectar las fallas antes que se generen.

Se calcula como el producto de tres calificaciones cuantitativas, relacionadas cada una a los efectos, causas y controles:

- Severidad: es la estimación de la gravedad del efecto del modo de falla.
- Ocurrencia: es la probabilidad de que una causa específica, resulte en un modo de falla.
- Detección: es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar la falla antes de que ocurra.

En la tabla 3.3 se asignan números 1 a 10 a los distintos modos de falla dependiendo de su severidad, ocurrencia y detección.

En el anexo A se encuentran tres tablas que describen y aplican estos tres factores y que se consideran para el cálculo del NPR en el caso de la severidad el número uno es más leve y el 10 significa más severidad al igual que en la ocurrencia. En

el caso de la detección lo más difícil de detectar es ranqueado con el número 10 y lo menos con el número 1.

Para la elaboración del NPR es preciso contar con la participación de mantenedores de las distintas disciplinas, personal de operaciones y prevención de riesgos.

Tabla 3-3. Numero prioritario de riesgo

Modo de falla	S	O	D	NPR
Eje cortado	10	1	3	30
Acoplamiento cortado	6	4	4	96
Motor eléctrico quemado	10	1	3	30
Rodamientos fundidos	8	4	3	96
Impulsor atascado con elemento extraño	2	3	6	36
Juego excesivo en anillos de desgaste	6	6	6	216
Impulsor desgastado	8	6	6	288
Voluta desgastada	8	4	4	160
Impulsor obstruido.	3	3	3	27
Ruptura de empaquetadura del sello mecánico	9	2	3	54
Ruptura de caras de sellado en sello mecánico	10	5	3	150
Ruptura de empaquetadura de voluta	10	2	3	60
Ruptura de voluta	10	3	3	90

Fuente: Elaboración propia en base al riesgo (anexo A)

### 3.5. LLENADO DE HOJA DE DECISIONES BOMBA J-3336 B

Para el llenado de la hoja de decisiones (Tabla 3.4) se consideraron todos los datos que fue arrojando el estudio FMECA y el Diagrama de decisión. Además cabe señalar que se mencionan las tareas de mantenimiento y las frecuencias de intervención para realizar la planificación y programación de éstas.

Tabla 3-4. Hoja de decisiones del análisis

Sistema de retroalimentación Slop aceite A Areas de proceso																
Subsistema de bombeo de Slop Aceite desde Estanque Proveedor a Área de Proceso									Tag J-3336 B							
Top. 2																
Referencia información			Evaluación consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tareas propuestas	Intervalo inicial	A realizarse por	NPR
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S						Tareas a condición Chequear vibraciones Chequeo temperaturas Ruta lubricación	Mensual  Diaria	Ingeniero Mecánico	30
1	A	2	S	N	N	S	S						Tareas a condición Chequear vibraciones Chequear Laines de acople	Mensual Mensual	Mecánico	96
1	A	3	S	N	N	S	S						Tareas a condición Revisar protección térmica Chequeo de vibraciones	Semestral Mensual	Eléctrico Mecánico	30
1	A	4	S	N	N	S	S						Tareas a condición Chequeo de vibraciones Chequeo de temperatura Ruta de lubricación	Mensual Mensual Diaria	Mecánico Lubricador	96
1	A	5	N				S						Tarea reacondicionamiento cíclico Revisar Filtro de succión	Semanal	Operador	36
1	B	1	N				N	N	N	S			Realizar estudio de búsqueda de fallas		Ingeniero procesos	216

Tabla 3-4. Hoja de decisiones del análisis (Continuación)

1	B	2	N				N	N	N	S			Realizar estudio de búsqueda de fallas		Ingeniero procesos	288
1	B	3	N				N	N	N	S			Realizar estudio de búsqueda de fallas		Ingeniero procesos	160
1	B	4	S	N	N	S	S						Tarea reacondicionamiento cíclico Limpiar filtro de succión	Semanal	Operador	27
2	A	1	S	N	N	N	S						Tarea sustitución cíclica Cambio de empaquetadura	Anual	Mecánico	54
2	A	2	S	S			N	N	N			N	Rediseño es obligatorio		Ingeniero Mecánico	150
2	A	3	S	S			S						Tarea a condición Inspección visual en busca de fugas	Diaria	Operador	60
2	A	4	S	N	S		N	N	N			N	Rediseño es obligatorio		Ingeniero Mecánico	90

Fuente: Elaboración propia en base a decisión

### 3.6. PLANIFICACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Para lograr una adecuada planificación de la tareas de mantenimiento surge la necesidad de diseñar distintos procedimientos y formatos que ayuden a ejecutar una tarea y al mismo tiempo registrar las condiciones en que quedó el equipo intervenido.

Es importante que los formatos diseñados permitan establecer claramente los pasos a seguir en el caso de procedimientos y registrar la mayor información posible en formatos de chequeo dimensional y de mantenimientos preventivos para su uso en fallas futuras.

Estos registros deben quedar archivados en el sistema SAP de manera que puedan ser usados por toda la organización.

#### 3.6.1. Procedimiento para reparación de bomba centrífuga

Este procedimiento tiene por objeto indicar las pautas a seguir en la reparación de una bomba centrífuga de una etapa, dejando establecido claramente todos los ítem

que se deben revisar o inspeccionar en la reparación de la bomba. En el anexo B se encuentra un procedimiento completo de las tareas a realizar en una reparación de bomba centrífuga.

3.6.2. Formato chequeo dimensional

En este formato deben quedar registradas todas las mediciones tomadas al equipo antes y después de la reparación Tabla 3-5.

Tabla 3-5. Chequeo de control dimensional bomba centrífuga

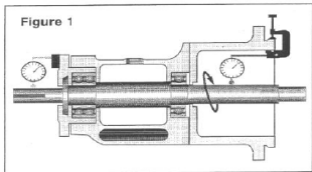
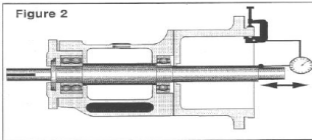
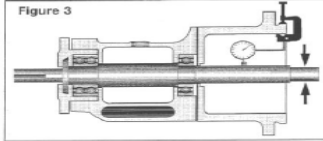
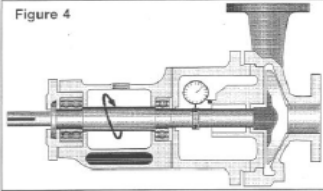
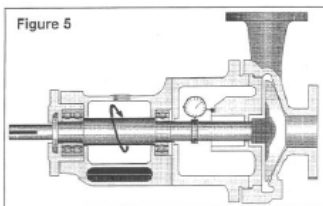
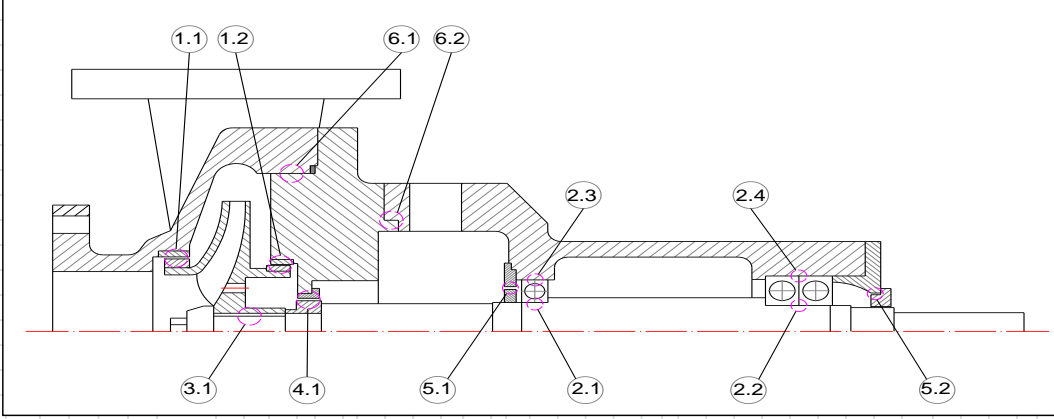
Controles Dimensionales				
1	Medición de Runout			
	Lectura	L/acople	L/sello	
	Inicial			
	Final			
	Tolerancia	0.05 mm	0.05 mm	
2	Desplazamiento axial de eje			
		Inicial	Final	
	Lectura			
	Tolerancia	0.10 mm		
3	Desplazamiento radial de eje			
		Inicial	Final	
	Lectura			
	Tolerancia	0.05 a 0.10 mm		
4	Perpendicularidad caja de sello			
		Inicial	Final	
	Lectura			
	Tolerancia	0.025 mm por cada 1" de Ø de caja de sello		
	Ø de caja de sello			
5	Concentricidad caja de sello			
		Inicial	Final	
	Lectura			
	Tolerancia	0.025 mm por cada 1" de Ø de caja de sello		
	Ø de caja de sello			
	Maximo			

Tabla 3-5. Chequeo de control dimensional bomba centrífuga (Continuación)



		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
<b>1-ANILLOS DESGASTE</b>		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
1,1	∅ Exterior anillo desgaste rodete L/succion ∅ Interior anillo desgaste carcaza						
1,2	∅ Exterior anillo desgaste rodete L/descarga ∅ Interior anillo desgaste flange tapa						
<b>2-Rodamientos</b>		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
2,1	∅ Puño eje rodamiento L/ Libre ∅ Interior rodamiento L/libre						
2,2	∅ Puño eje rodamiento L/ acople ∅ Interior rodamiento L/acople						
2,3	∅ Exterior rodamiento L/libre ∅ Interior caja rodamiento L/libre						
2,4	∅ Exterior rodamiento L/acople ∅ Interior caja rodamiento L/acople						
<b>3-Impulsor</b>		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
3,1	∅ Interior impulsor para puño eje ∅ Puño de eje para impulsor						
3,2	∅ exterior impulsor						
<b>4-Anillo de fondo</b>		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
4,1	∅ Interior anillo fondo flange tapa ∅ Exterior manga espaciadora impulsor						
<b>5-Laberintos</b>		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
5,1	∅ Exterior laberinto dinamico L/ libre ∅ Interior laberinto estatico L/ libre						
5,2	∅ Exterior laberinto dinamico L/acople ∅ Interior laberinto estatico L/ acople						
<b>6-Guías de ajuste</b>		AL DESARME			REPARACION		
		Medida Inicial	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )	Medida Final	Juego	Cumple ( C ) No Cumple ( NC )
6,1	∅ Exterior guías flange tapa ∅ Interior guia carcaza						
6,2	∅ Exterior guías flange tapa L/sello ∅ Interior guia cuerpo bomba						

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3. Formatos de mantenimiento preventiva

En la tabla 3-6 se tiene una pauta con la tarea a realizar en un mantenimiento preventivo de rutina semestral.

En la Tabla 3-7 se observa un formato donde deber quedar registradas todas las observaciones e intervenciones realizadas al equipo, además de los ejecutantes, número de orden, tag del equipo, horas empleadas en el trabajo (HH), etc. Luego es importante archivar el informe en la notificación final de la orden.

Tabla 3-6. Pauta de trabajo Mantenimiento preventiva semestral de bombas centrifugas

PAUTA DE TRABAJO MANTENCION PREVENTIVA BOMBA CENTRIFUGA						
	Actividad	Ejecutor	Nombre	Firma	Fecha	HH
1	Bloqueo Equipo (Aplicar PPRE11)	Insp. ERA				1
	BOMBA					0,5
2	Cambiar aceite de cárter, lavar cárter	Contratista				0,5
3	Cambiar aceite de plan API de sello, verificar si está contaminado o presionado.	Contratista				0,5
4	Revisar todos los pernos de fijación de la bomba estos son: voluta, flange bomba, tapas frame (lado sello y lado acople) pata de bomba.	Contratista				0,3
5	Revisar posibles fugas en plan API, del sello , de caja de rodamientos (frame), flange de voluta, si es doble etapa revisar ambas tapas ( 1ª y 2ª etapa)	Contratista				0,2
6	Revisar estado del enfriador del sello si es que lo tiene.	Contratista				0,2
7	Revisar sistema de refrigeración, verificar que no esté obstruido.	Contratista				0,2
8	Revisar laberintos, lado acople y lado machón, reubicar en caso de estar sueltos.	Contratista				0,3
9	Revisar vaso lubricador (trico) y vaso inferior.	Contratista				0,1
10	Comprobar que el eje gire libremente, poner atención a ruidos o roces extraños.	Contratista				0,1
	Total HH					3,7

Tabla 3-6. Pauta de trabajo Mantenimiento preventiva de bombas centrifugas  
(Continuación)

	MOTOR					HH
11	Revisar laines o gomas de acoplamiento, en caso de estar cortadas , dobladas o en mal estado , se deben cambiar. Engrasar acople cuando corresponda.	Contratista				1
12	Revisar el apriete de los pernos de base del motor y de las tapas.	Contratista				0,2
13	Revisar tapa lado ventilador, que no este corroída o rejilla ventilador en mal estado.	Contratista				0,2
14	Revisar ventilador, que no tenga aspas rotas o dobladas.	Contratista				0,1
15	Limpiar rejilla de ventilación de la tapa del motor.	Contratista				0,1
16	Engrasar motor en caso de tener graseras, o cambiar aceite ( según corresponda)	Contratista				0,3
17	Revisar anclaje de cobre acople, que no le falten pernos, de lo contrario reponer o afianzar.	Contratista				0,3
18	Comprobar que el rotor gire libremente, poner atención a ruidos o roces extraños.	Contratista				0,2
	Total HH					2,4

Fuente: Elaboración propia en base a pauta

Tabla 3-7. Formato de informe técnico equipos rotativos

enap refineras ACONCAGUA		<b>Informe de Mantenimiento de Equipos</b>					
<b>TURBOMAQUINA</b>							
Mecánico					HH Trab. - Normal		
Apoyo		Inicio del Trabajo:		HH Trab. - Sobr.			
Planta:	Equipo:	Termino del Trabajo:					
Tipo de Equipo Intervenido:			ORDEN N°:				
Prioridad	Tipo Trabajo		Descripción OT				
<b>Síntomas de fallas</b>			<b>Trabajos Ejecutados</b>				
1	Perdidas por Prensa		1	Reparar Prensa			
2	Perdidas por Sello		2	Reparar Sello			
3	Ruido de Rodamientos		3	Revisar Rodamientos			
4	Ruido de Válvulas		4	Revisar Alineación			
5	Cavitación		5	Reparar Descansos			
6	Ruido de Roce		6	Revisar Filtro de succión			
7	Alta T°		7	Revisar Filtraciones			
8	Regulador Defectuoso		8	Ajustar Juegos internos			
9	Sobrecarga Motor		9	Revisar Válvulas y Líneas			
10	Bajas Revoluciones		10	Revisar Pistones			
11	Baja Presión Descarga		11	Revisar Anillos y Medir Juegos			
12	Bajo Flujo		12	Revisar Regulador de Velocidad			
13	Correas Seltas o Cortadas		13	Cambio de Correas			
14			14	Revisar Caja de Distribución			
			15	Reapretar Pernos			
			16	Lavado Interno del Equipo			
			17	Lubricación			
			18	Balacear Rodetes			
			19	Revisar Motor			
			20	Revisar Engranajes			
			21	Revisar Acoplamiento			
			22	Reparar Eje			
			23	Cambio de Rodamientos			
22			24				
		<b>Vibraciones</b>					
15	Desbalanceo						
16	Desalineamiento						
17	Soltura Mecánica						
18	Resonancia						
19	Efectos Hidrodinámicos						
20	Engranajes Defectuosos						
21	Falla Eléctrica						
22							
Bomba		<b>Descripción</b>	<b>N°PZ</b>	Motor	<b>Descripción</b>	<b>N°PZ</b>	
		Rod. Axial				Rod. Lado Machon	
		Rod. Radial				Rod. Lado Libre	
		N° Etapas				Frame	
		N° de Alabes 1 Etapa				Voltaje / RPM	
		N° de Alabes 2 Etapa				Potencia	
				Amperaje			
Turbina		<b>Modelo</b>		Atrcooler	<b>N° de Aspas</b>		
		RPM				Angulo de calaje	
		RPM de TRIP				N° de Correa	
		Potencia				Cantidad	
		Rodamiento				Amperaje	
<b>Observaciones:</b>							
<b>Cambios Efectuados al Equipo:</b>							
<b>Alineación Final</b>							
<b>N° Intervenciones al equipo :</b>			<b>Inf. Emitido -</b>				
			<b>Inf. Completado -</b>				

MECANICO RESPONSABLE

Fuente: Información otorgada por Enap

### 3.6.4 Costos asociados a la mantención preventiva de bomba centrífuga

Para considerar los costos que significa la mantención preventiva del equipo en estudio J-3336 B, se comienza por asignar tiempos (HH) a las distintas tareas encomendadas en la pauta de mantenimiento preventivo semestral de una bomba centrífuga, luego, se multiplica el total de tiempo empleado en estas tareas por el valor hora hombre (HH) considerado en Enap Refinerías para sus distintos contratos suscritos con empresas externas. A este resultado se le debe sumar el costo de los insumos utilizados para su mantenimiento.

Entonces:

Suma de HH en tareas pauta de mantenimiento preventivo (columna HH de tabla 3-6.) 6,1 HH.

Valor HH Enap Refinerías Aconcagua: \$ 15.700

Técnicos que intervienen: 3

Costo de mano de obra :  $6,1 \times 15700 \times 3 = \$ 287.310$

Insumos utilizados:

- Paños \$ 4000 por kilo (se usa 0.5 kg7mantención) = \$ 2.000
- Producto de limpieza (1 litro) \$ 3800 por litro = \$ 3.800
- Aceite Lubricante (4 litros) \$ 5900 por litro = \$ 23.600

Costo total de mantención preventiva semestral bomba centrífuga: \$ 316.710



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es evidente el avance y como ha cambiado la forma en que se ve hoy en día el mantenimiento, el RCM entrega una serie de técnicas que llevan a realizar un estudio muy preciso del proceso y de las funciones de los elementos en él, obligando a unificar las miradas tanto de operaciones como de mantención, muchas veces la falla esta oculta y los operadores tienen información básica que nos pueden llevar a la causa raíz, partiendo de esta premisa es muy importante involucrar a los operadores y otras especialidades para comprender el contexto en que funciona un sistema y así identificar en forma certera los modos, efectos y criticidad de los elementos que lo componen.

Al aplicar el proceso RCM al sistema de bombeo de retroalimentación de Slop Aceite, se constató la incapacidad que ha existido durante años, de identificar fallas funcionales, a raíz de la incomunicación que existe entre el departamento de producción y mantención respectivamente. Esto porque no existen registros de cambios de condición de operación por parte de producción, ni registros en cambios de diseño por parte de ingeniería en algunas áreas como Zona Intermedia.

Para comenzar se recopiló información técnica desde sistema SAP tomando los equipos con mayor cantidad de intervenciones y a través de una herramienta estadística como el diagrama de dispersión logarítmica “Jack Knife” se logró priorizar un mal actor en el área al cual se le realizó el estudio FMECA.

El FMECA obliga a realizar un análisis del funcionamiento del sistema donde está inmerso nuestro mal actor y queda en evidencia la importancia de este método, pues el SIPOC ayudo a identificar las necesidades del sistema.

El proceso RCM realizado lleva a un análisis de modos, efectos y criticidad de la bomba centrífuga J-3336 B y finalmente a una toma de decisiones plasmada en la hoja para ese fin, llaman la atención las tareas propuestas de rediseño ( dos en total) y las tareas de búsqueda de fallas, pues es evidente que la bomba sufre modos de fallo atribuibles a fallas funcionales, generalmente con desgastes excesivos, todo parece indicar que el equipo está sobredimensionado para la función que se le requiere, esto significa que el cliente no necesita recibir tanto producto como le entrega el proveedor, por lo cual restringe la entrada a su proceso, esto genera recirculación en la bomba, lo que se traduce en alza de temperatura en la voluta, gasificación del producto, por consiguiente cavitación del equipo produciendo una serie de modos de falla con efectos evidentes que terminan generalmente en falla catastrófica.

En definitiva es obligatorio el rediseño del equipo para lo cual es preciso hacer un estudio por un profesional competente.

Por otro lado, se confeccionan pautas de mantenimiento tendientes a mejorar la gestión del mantenimiento de bombas centrifugas, esto ayudará a realizar seguimientos a los distintos equipos permitiendo controlar los stock de repuestos, mantener un historial del equipo en cuanto a sus intervenciones, realizar las intervenciones en forma estandarizada por los técnicos siguiendo pautas de trabajo, realizando check list e informes de trabajo.

En cuanto al futuro y considerando el estudio hecho, cabe destacar el interés de la empresa para implementar el rediseño sugerido, para lo cual ya se tomaron cartas en el asunto y se está estudiando la factibilidad de implementar el equipo necesario para realizar el trabajo, esperando tener el sistema normalizado en un plazo no mayor a un año.

Considerando la importancia de realizar FMECA en los distintos sistemas de ENAP, es que se comenzaran a identificar malos actores que lleven a un mejor funcionamiento de los equipos, lo que lleva a reducir costos de mantenimiento y energía. Se espera que la organización tome conciencia de la importancia del RCM y se logre la interacción de los distintos departamentos de Mantenimiento, operación e ingeniería para lograr los resultados esperados y atacar los problemas desde su raíz, llevando así a tareas de mantenimiento más efectivas y condiciones de operación óptimas.

**BIBLIOGRAFIA**

- Mantenimiento Centrado en confiabilidad (John Moubray)
- FMECA PAPER.pdf, documento facilitado por profesor guía.



## **ANEXOS**



## ANEXO A: CRITERIOS DE EVALUACIÓN

TABLA 5.2 Criterios sugeridos para la evaluación de criticidad.  
Fuente: Norma SAE J1739.

Efecto	Criterio: Severidad del efecto	Ranking
Peligros sin advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligros con advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy alto	Perturbación grave a la línea productiva. Las pérdidas pueden alcanzar al 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede tener que ser ordenada y una parte desechada (menor al 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación menor en la línea productiva. Una porción (menor al 100%) puede tener que ser desechada (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos ítems de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	6
Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos ítems de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
Muy bajo	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100%) adaptado. Ajustes y terminaciones y sonido en el ítem no están en conformidad. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no están en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
Muy menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraciones en el ítem que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
Ninguno	Sin efectos	1


TABLA 5.3 Criterios sugeridos para la evaluación de la ocurrencia.  
Fuente: Norma SAE J1739.

Probabilidad de falla	Posible tasa de falla	Ranking
Muy alta: La falla es casi inevitable	$\geq 1$ en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1 en 15.000	3
Muy baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos	$\leq 1$ en 1.500.000	1

TABLA 5.4 Criterios sugeridos para la evaluación de la detección.  
Fuente: Norma SAE J1739.

<b>Detección</b>	<b>Criterios: Probabilidad de detección de un modo de falla</b>	<b>Ranking</b>
Casi imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla	10
Muy remota	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	9
Remota	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	8
Muy baja	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	3
Muy alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	2
Casi cierta	Los actuales controles son casi certeros para detectar el modo de falla. Detección confiable	1

**ANEXO B: PROCEDIMIENTO EN MANTENCIÓN**

	N°: 1 Revisión: 1	Fecha vigencia:
Procedimiento en mantención de bombas centrífugas horizontales de una o dos etapas	TURBOMAQUINAS	Página 55 de 71

**CONTENIDO**

OBJETIVO	Pág. 1
ALCANCE	Pág. 1
TERMINOLOGÍA	Pág. 1
RESPONSABILIDADES	Pág. 1
REFERENCIAS	Pág. 1
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Pág. 1-8
ANEXOS	Pág. 9
REGISTROS	Pág. 9
MODIFICACIONES AL DOCUMENTO	Pág. 10

	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Nombre			
Firma			
Fecha	xx-yy-zz	xx-yy-zz	xx-yy-zz

**OBJETIVO.**

Este procedimiento tiene por objeto indicar las pautas a seguir en la reparación de una bomba centrífuga de una etapa, dejando establecido claramente todos los ítem que se deben revisar o inspeccionar en la reparación de la bomba.

**ALCANCE**

Este procedimiento aplica a todas las bombas centrífugas horizontales de una o dos etapas

## TERMINOLOGÍA

### RESPONSABILIDADES

El jefe de la División mecánica es responsable de asegurar la implementación y de las actualizaciones futuras de este instructivo

### REFERENCIAS

### DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Cuando sea necesario retirar una bomba por alguna reparación en taller se deben realizar las siguientes actividades:

Solicitar el equipo a operaciones

Realizar los permisos de trabajo correspondientes, ya sea , en frío, en caliente, en espacios confinados, para trabajos en altura, etc., como también de ser necesario el ASR

Una vez que está en terreno asegurar que el equipo este desenergizado, colocando el candado correspondiente en el Switch House.

También el mecánico se debe asegurar que operaciones entrego el equipo vacío, depresionado, de ser necesario lavado y vaporizado, dependiendo del tipo de producto de la bomba.

El mecánico también debe gestionar los recursos necesarios para el retiro del equipo, en el caso que sea necesario. (ej: apoyo de pippefiter para desenflancar, eléctricos para desconectar motor, electrónicos para retirar sensores de vibración, operación maquinarias en caso de ser equipos de gran envergadura o que requieran de maniobras con teclees., o andamios para trabajos en altura o bajo nivel, etc.)

Estos recursos deberán tener su correspondiente suborden con la prioridad que corresponda

El mecánico será el encargado de coordinar en que momento necesitara estos recursos avisando con la debida anticipación.

El mecánico también debe informarse de cuál es la razón por lo que el equipo es solicitado, y realizar pruebas en terreno si es necesario para hacer un diagnóstico más acertado.

Estas pruebas serán solicitadas al operador de terreno.

Una vez concluida esta etapa y estando claros con el diagnostico el mecánico procede a retirar el equipo de la siguiente forma:

Retirar carrete acoplamiento.

Sacar líneas de refrigeración acopladas a la bomba

Sacar aceite de plan API y carter de bomba

Sacar líneas del sello y plan API

Solicitar retirar sensores de vibraciones en caso de tenerlos

Soltar flange de bomba

Retirar vaso lubricador (trico)

Retirar vaso visor aceite (inferior)

Despegar flange de carcaza con pernos extractores ( no utilizar cuñas)

Dejar a lo menos una tuerca puesta para evitar caídas involuntarias de la bomba que puedan ocasionar accidentes o daños a las personas o equipos.

Retirar bomba con apoyo de grúa de ser necesario, para esto usar los estrobos o eslingas, grilletes y cáncamos suministrados en taller, (no hechizos)

Estrobar el equipo desde puntos especialmente dispuestos par estos por el fabricante de la bomba o bien ubicarlos en el punto más seguro (buscar el centro de gravedad)

El equipo será trasladado a taller sobre la plataforma de la grúa y no colgando del gancho.

Una vez en taller el equipo debe ser lavado en patio de lavado con maquina hidrolavadora

Luego el equipo será montado sobre el banco asegurándolo de tal manera que este no caiga cuando estemos trabajando en él.

Soltar el impulsor, en caso que este no salga se deberá instalar un extractor hidráulico o mecánico, pero en ningún caso usar palancas que doblen el rodete o el eje., en caso más extremos aplicar temperatura a la pieza agripada ( usar equipo de oxicorte para calentar)

Retirar anillo de fondo, en caso de estar agripado al eje proceder de la misma manera del punto anterior

Seguiremos soltando el flange del sello y el de la carcasa.,

Retirar carcaza con el apoyo de tecele, en caso de estar muy apretado no golpear la carcasa para retirarlo, buscar método más apropiado

Retirar sello, si este es tipo compacto, soltar el collarín y los pernos de fijación de la manga del sello, luego retirar el sello.

Retirar acoplamiento con extractor

Sacar laberinto lado libre sello y lado acople.

Sacar tapas de caja de rodamientos ambos lados

Retirar eje del frame de la bomba

Soltar tuerca de fijación de rodamiento axial

Sacar rodamiento con prensa o extractor hidráulico

Limpiar eje y enviarlo a control dimensional (deflexiones, juegos, ralladuras, interferencias, etc.)

Durante el desarme en todo momento se debe ir observando el porqué de la falla del equipo para así encontrar la causa raíz.

Proceso de reparación de la bomba:

El proceso de reparación consiste en realizar todos los ajustes, mecanizados, cambio y/o reparación de las piezas que presenten problemas, estas pueden ser:

Eje: recuperar zonas fuera de tolerancia o dañadas, enderezar, reparar roscas.

Impulsor: recuperar zonas de anillos de desgaste, agujero de alojamiento del eje, chavetero, refrentar caras de apoyo,

Eje e impulsor: Se debe revisar el balanceo y corregir en caso de estar fuera de tolerancia.

Caja de rodamientos: revisar las tolerancias según norma, y recuperar zonas fuera de medida o de forma.

En el flange de carcaza: Revisar los juegos de los anillos v/s los anillos de los rodets y mecanizar en caso de estar fuera de medida y de forma Revisar la concentricidad y perpendicularidad de la guía de caja de sello, recuperar guías, si están fuera norma según fabricante de sello. Revisar la cara de sellado donde ajusta la empaquetadura del flange del sello. Refrentar cara de ser necesario. Revisar el estado de los hilos y los pernos extractores de carcaza, recuperar con macho el hilo y cambiar los pernos si estos lo requieren. De no tener estos agujeros con hilos se deberán perforar y roscar.

Laberintos: Los laberintos o deflectores se deben revisar si tienen sus sellos estáticos (o'ring) si están en mal estado se deben cambiar, así como también los pernos allen de fijación al eje.

Las tapas de caja de rodamiento: Se deben revisar el estado de las guías y las zonas de sellado donde ajusta la empaquetadura, en caso de presentar golpes o deformaciones se debe mecanizar, para asegurar un correcto sello con la empaquetadura. También se debe revisar que cuente con los agujeros para pernos extractores, de lo contrario se deben mecanizar.

Anillos lubricadores: si la bomba posee anillos lubricadores se debe revisar que estén redondos, sin presentar deformaciones o golpes que impidan el correcto giro.

#### Proceso de armado del equipo:

Par el proceso de armado debemos contar con todos los repuestos y reparaciones

Necesarias antes del armar.

Los elementos que necesitamos para armar el equipo serán:

Eje reparado o nuevo

Rodamientos Nuevos

Sello Nuevo o reacondicionado certificado por el proveedor

Kit de empaquetaduras para carcaza y tapas de bomba

Laberintos con sellos estáticos nuevos (o'ring)

Aceite lubricante para la bomba y el plan API

Toda la tornillería limpia o nueva

Tuerca y seguro de rodamiento axial

La primera etapa consiste en armar el conjunto eje, impulsor y masa de acoplamiento y llevarlo a la balanceadora para revisar el balanceo del conjunto y hacer las correcciones de ser necesario. (Como norma del taller de turbomáquinas, los rotores deben ser balanceados según la norma ISO con un grado de tolerancia 2.5 para todos los ejes que giran igual o inferior a 3000 RPM )

Luego se deben montar los rodamientos en el eje, usando el equipo de inducción magnética. La tuerca que fija el rodamiento axial debe ser apretada una vez que la temperatura ha bajado a T° ambiente.

Una vez armado el eje con sus rodamientos se montara en el frame de la bomba ocupando si es necesario una maceta blanda (teflón o similar) para golpear el eje, no olvidar instalar entre los rodamientos los anillos lubricadores si la bomba dispone de dichos elementos.

Luego se instalaran las tapas con sus correspondientes empaquetaduras y los laberintos, fijándolos con sus pernos Allen a una distancia tal que no rocen con la tapa. (No más de 1/16" de separación)

Una vez armado el frame con el eje y los rodamientos instalados, se deben realizar los controles dimensionales para determinar los juegos, radiales, axiales, concentricidades, y perpendiculares de la caja del sello, (todo estos con reloj comparador en mm). Es importante en este punto respetar las tolerancias indicadas en el informe, ya que son los valores que establecen los fabricantes de sellos para un correcto funcionamiento del sello.

Luego debemos instalar el sello, pero sin fijarlo aun al eje, y dejando sus pin de tensión del sello instaladas ( "chauchas" ) .

Luego se instala el flange de carcaza y preocupándose especialmente que el anillo de fondo de carcaza quede centrado con respecto a su manga. Controlar este juego con filler.

Después debemos instalar el flange de carcaza, asegurándolo con sus pernos correspondientes y fijando el flange del sello.

Luego debemos instalar el impulsor, y finalmente apretar el collarín del sello, retirando los pin de fijación de tensión del sello ( cahuchas).

El equipo luego será trasladado a terreno e instalado según la siguiente pauta:

Pedir los permisos de ingresos a la planta correspondiente

Tener limpia y ordenada el área donde se instalara la bomba

Contar con todos los insumos necesarios: aceites, empaquetaduras, carrete acople, etc.

Instalar la bomba en carcasa y torquearla

Acoplar todas las líneas anexas de refrigeración y lubricación revisando que estén destapadas y en buen estado

Acoplar bomba motor, teniendo cuidado de instalar el carrete sin que quede forzado o suelto.

En caso de ser necesario se deberá alinear con sistema laser

Rellenar con aceite todos los depósitos, ( Plan API de sello y frame de bomba)

Instalar vaso lubricador (Trico) y regular nivel de aceite

Habilitar sistema de refrigeración ( vapor y/o agua) y verificar posibles fugas.

Instalar cubre acoplamiento dejándolo fijo a la base

Coordinar con operador para entrega y pruebas finales del equipo

Tomar datos de la partida: Presión descarga, presión succión, temperaturas, corriente consumida,

## ANEXOS

Ver planilla de informes en disco [Disco I:\DATOSRPC\MANTENCI\Turbomaquina\FORMATO HOJA REGISTRO \(CHECK LIST\)](I:\DATOSRPC\MANTENCI\Turbomaquina\FORMATO HOJA REGISTRO (CHECK LIST))

## REGISTROS

Identificación	Almacenamiento	Protección	Recuperación	Tiempo de retención	Disposición	Responsable

## MODIFICACIONES AL DOCUMENTO

Fecha de Vigencia	Revisión	Cambios respecto a la revisión anterior