

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR-JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO
KAMAT DE EMPRESA NEXXO

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumnos:

Paulo Ignacio Díaz Pizarro

Nelson Alejandro Miranda Geldes

Profesor Guía:

Ing. Andrés Aranguiz Garrido

RESUMEN

KEYWORDS: EQUIPO KAMAT, MATRIZ CUALITATIVA DE RIESGOS, ACR.

Nexxo es una empresa multinacional, que se dedica a las prestaciones de servicios industriales y de limpieza, dentro de su casa matriz se encuentra la problemática de la necesidad de realizar una mejora en el plan de mantenimiento a uno de sus equipos más cotizados, la bomba de alta presión “Kamat”.

Este trabajo plantea un objetivo general, este busca elaborar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento del equipo “Kamat” y tres objetivos específicos los cuales se despliegan en tres capítulos de análisis e investigación que se encargan de cumplir cada objetivo.

En el primer capítulo se describe la empresa y se entrega antecedentes generales de esta, a su vez se presenta el equipo a intervenir, se expone su funcionamiento y componentes mecánicos, también se plantea la problemática del proyecto y se realiza un análisis de criticidad de sus componentes mediante la creación de una matriz cualitativa de riesgo.

En el capítulo dos se realiza un análisis de causa raíz, con la ayuda de un diagrama de Ishikawa se detectan errores y/o fallas en la ejecución de la mantención del equipo y se presentan posibles soluciones a las fallas concurrentes.

En el capítulo tres se expone detalladamente las propuestas de mejora al plan de mantenimiento del equipo y se realiza en primera instancia una proyección de la disponibilidad, para saber si es factible técnicamente la realización de las mejoras. Finalmente se evalúa económicamente la propuesta, calculando todos los costos asociados a esta, y realizando un cálculo de las ganancias finales, respecto al valor del arriendo del equipo.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	9
SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS.....	10
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y EQUIPO KAMAT	4
1.1. NEXXO S.A.	4
1.1.1. Descripción de la empresa	4
1.1.2. Ubicación	4
1.1.3. Misión.....	5
1.1.4. Visión	5
1.2. EQUIPO KAMAT	6
1.2.1. Descripción del equipo	6
1.2.2. Componentes del equipo.....	6
1.3. PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO	7
1.3.1. Análisis de la criticidad de los subsistemas	9
1.3.2. Criterios de evaluacion para la creacion de una matriz cualitativa de riesgos	11
1.3.3. Matriz de riesgo cualitativa de criticidad.....	13
1.4. BOMBA DE ALTA PRESIÓN	14
1.4.1. Características técnicas de la bomba de alta presión	16

1.4.2.	Descripción del funcionamiento de la bomba de alta	16
2.	ANÁLISIS CAUSA RAÍZ Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EN SUBSISTEMA CRÍTICO.....	20
2.1.	ANÁLISIS CAUSA RAÍZ FALLA CRÍTICA BOMBA ALTA PRESIÓN. ..	20
2.1.1.	Detección falla crítica en subsistema.....	20
2.1.2.	Diagrama causa efecto de falla crítica.	21
2.1.3.	Análisis de diagrama de Ishikawa	24
2.1.4.	Conclusión Ishikawa	26
2.2.	SOLUCIÓN A FALLA CRÍTICA.....	27
2.2.1.	Revisión de pautas de trabajo y planes de mantenimiento existentes.....	27
2.2.2.	Sellador mecánico para mitigar las fugas.	28
2.2.2.1.	Sellador Loctite	28
2.2.2.2.	Sellador de roscas Loctite 2760	29
2.2.2.3.	Método de aplicación de sellador	31
2.2.3.	Pautas de trabajo y actas de entrega.	32
2.2.3.1.	Pauta de trabajo	32
3.	PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO Y EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA.....	36
3.1.	PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	36
3.1.1.	Plan de mantenimiento preventivo	37
3.1.1.1.	Beneficios de un mantenimiento preventivo.	37
3.1.1.2.	Plan de mantenimiento preventivo bomba de alta presión.....	37
3.1.2.	Pautas de trabajo.....	38
3.1.2.1.	Pautas de trabajo de equipo Kamat.....	38
3.1.2.2.	Sustitución de válvulas a bomba de alta presión.	39
3.1.2.3.	Sustitución de sellos bomba alta presión	41
3.2.	EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE MEJORAS.	43

3.2.1. Proyección de la disponibilidad	44
3.2.2. Tiempo promedio de funcionamiento (MTBF)	49
3.2.3. Tiempo medio de reparaciones (MTTR).	51
3.2.4. Disponibilidad	52
3.2.5. Costos asociados a la mantención.	53
3.2.5.1. Costos de mano de obra	54
3.2.5.2. Costos asociados a insumos y herramientas.....	54
3.2.5.3. Costos totales.	56
3.2.5.4. Ingresos por arriendo del equipo	57
3.2.5.5. Ingresos de la empresa	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	63
ANEXO 1: PAUTA DE TRABAJO SUSTITUCIÓN DE VÁLVULAS	64
ANEXO 2: PAUTA DE TRABAJO SUSTITUCIÓN DE SELLOS.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Imagen satelital empresa Nexxo S.A.	5
Figura 1-2 Equipo Kamat y sus componentes.....	6
Figura 1-3 Diagrama de proceso para realizar propuesta de mejora	8
Figura 1-4 Placa bomba alta presión.....	14
Figura 1-5 Carcasa bomba alta presión Kamat.....	15
Figura 1-6 Cabezal bomba alta presión.....	15
Figura 1-7. Funcionamiento de bomba alta presión	17
Figura 2-1 Acta de recepción equipo Kamat.....	21

Figura 2-2 Diagrama de Ishikawa para análisis causa raíz.	22
Figura 2-3 Diagrama de Ishikawa para falla de fuga entre cabezal y válvula.	24
Figura 2-4 Cabezal de bomba de alta presión Kamat.	26
Figura 2-5 Logotipo marca Loctite	28
Figura 2-6 Sellador Loctite 2760	29
Figura 2-7. Porcentaje de fuerza de fijación versus tiempo de secado	30
Figura 2-8. Imagen explicativa aplicación de sellador de roscas	31
Figura 3-1. Pauta mantenimiento preventivo cabezal bomba alta presión.....	38
Figura 3-2. Check list pauta de trabajo sustitución de válvulas.	40
Figura 3-3. Paso a paso sustitución de válvulas	41
Figura 3-4. Check list pauta de trabajo sustitución de sellos.	42
Figura 3-5. Paso a paso sustitución de sellos.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Organización y clasificación de la información	9
Tabla 1-2 Matriz de criticidad	10
Tabla 1-3 Tabla de frecuencia de fallos	11
Tabla 1-4 Tabla de impacto operacional	11
Tabla 1-5 Tabla de factor operacional	12
Tabla 1-6 Tabla de costos de mantención	12
Tabla 1-7 Tabla impacto en seguridad, higiene y medioambiente	13
Tabla 1-8 Tabla de criticidad de los subsistemas	13
Tabla 1-9 Características técnicas de bomba de alta presión	16
Tabla 2-1 Características técnicas de sellador Loctite 2760	30
Tabla 3-1. Eventos registrados durante 1 año.	44
Tabla 3-2. Proyección de fallas del equipo	46
Tabla 3-3. Horas de trabajo al año equipo.	50
Tabla 3-4. Horas de detenciones al año equipo.....	50
Tabla 3-5. Tiempo medio entre detenciones	50

Tabla 3-6. Proyección horas de detención.	51
Tabla 3-7. Proyección MTBF.....	51
Tabla 3-8. Tiempo medio de fallas	52
Tabla 3-9. Proyección tiempo medio entre fallas.	52
Tabla 3-10. Disponibilidad real del equipo	53
Tabla 3-11. Proyección de la disponibilidad	53
Tabla 3-12. Costos de mano de obra.....	54
Tabla 3-13. Costos asociados a insumos de sustitución de sellos.	55
Tabla 3-14. Costos asociados a insumos de sustitución de válvulas.	55
Tabla 3-15. Costos totales Sustitución de Sellos	56
Tabla 3-16. Costos totales de Sustitución de Válvulas.	56
Tabla 3-17. Arriendo diario de equipo Kamat.....	57
Tabla 3-18. Ingresos semanales totales de la empresa con las mejoras.	57
Tabla 3-19 Ingresos totales anuales de la empresa con la mejora	58
Tabla 3-20 Pérdidas anuales de la empresa sin mejoras	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1. Gráfico de acumulación histórica de fallas	45
Gráfico 3-2. Proyección de la acumulación de fallas del equipo.	47
Gráfico 3-3. Comparativa de registros versus proyección.	47

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

S.A: Sociedad Anónima.

PTO: Power Take Off.

CTR: Criticidad Total por Riesgo.

FF: Frecuencia de Fallas.

C: Consecuencia.

IO: Impacto Operacional.

FO: Factor Operacional.

CM: Costo del Mantenimiento.

SHA: Seguridad Higiene y medioambiente.

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

MTTR: Tiempo medio de fallas.

SIMBOLOGÍAS

mm: Milímetro.

bar: Unidad de presión

rpm: Revoluciones por minuto.

hp: Unidad de potencia.

INTRODUCCIÓN

Las bombas de alta presión cumplen un muy importante rol en los procesos industriales, principalmente en lo que es limpieza dentro de una planta industrial o empresa minera, estas son utilizadas para la remoción de residuos y limpieza de cañerías, es por eso que es indispensable contar con un buen plan de mantenimiento para tenerlas operativas el mayor tiempo posible.

Para la empresa Nexxo la cual presta servicios industriales y de limpieza, es de suma importancia tener activo el equipo “Kamat”, puesto que, es uno de los más cotizado de la empresa. Este equipo cuenta con varios componentes mecánicos, pero es comandado principalmente por una bomba de alta presión marca Kamat, la que presenta fallas concurrentes a causa de un incorrecto plan de mantenimiento y/o una mala ejecución de este.

Proponer un nuevo plan de mantenimiento o modificaciones en este conlleva realizar una serie de análisis para identificar componentes con fallas repetitivas, las causas de estas y por tanto las consecuencias. Al contar con esta información se exponen posibles soluciones y acciones que mitiguen las fallas concurrentes encontradas.

Para generar una buena y completa propuesta se necesita estudiar los costos de esta y verificar si logra un ahorro significativo tanto monetario como de tiempo y que a su vez solucione por completo los problemas expuestos. Teniendo buenos resultados se puede proceder a una futura implementación sin problemas.

Contar con un completo plan de mantenimiento el cual sea ordenado, explicativo y riguroso, le ayudara a la empresa a generar más ingresos monetarios, debido a tener un mayor tiempo operativo el equipo y por consiguiente además se consigue una reducción al tiempo de parada por la necesidad de una reparación correctiva. Todo esto va de la mano con trabajadores bien capacitados los cuales ejecuten de forma correcta el plan de mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una propuesta de mejoras al plan de mantenimiento mediante un análisis causa raíz al subsistema crítico pertenecientes al equipo Kamat para una futura implementación

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información técnica histórica para la selección de un subsistema crítico mediante una matriz cualitativa de riesgos.
- Determinar origen de las fallas más recurrentes en subsistema crítico realizando un análisis causa raíz para la selección de las alternativas de solución.
- Determinar factibilidad de la propuesta a la mejora del plan de mantenimiento evaluando los costos y la proyección de la disponibilidad del equipo para una futura implementación.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y EQUIPO KAMAT

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y EQUIPO KAMAT

En el primer capítulo se darán a conocer los datos generales de la empresa y el equipo a intervenir, además se realizará una organización de la información recopilada para determinar el o los subsistemas críticos pertenecientes al equipo Kamat, mediante la elaboración de una matriz cualitativa de riesgos, que tiene como finalidad facilitar la jerarquización de los reportes recabados en la investigación para la realización del proyecto.

1.1. NEXXO S.A.

1.1.1. Descripción de la empresa

La empresa NEXXO S.A. es una compañía que presta servicios industriales de alta especialización enfocada en: Obras y montajes industriales, limpiezas químicas & flushing & limpieza con agua a alta presión, cambio de catalizadores y servicios industriales y contratos de mantención industrial. Actualmente el mercado de trabajo es la industria minera, oil & gas, celulosa y papel, generación eléctrica, entre otras industrias de Chile, Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia y Perú.

1.1.2. Ubicación

Nexxo S.A. es una empresa con presencia en distintos países de Latinoamérica, siendo su sede matriz que se encuentra ubicada en Parque Industrial Gulmué Lote 3ª Camino Internacional Concón s/n, Región de Valparaíso, Chile



Fuente: Google Maps

Figura 1-1 Imagen satelital empresa Nexxo S.A.

1.1.3. Misión

“Ser una empresa proveedora de servicios industriales innovadores, especializados y de alta tecnología, que se destaquen en el mercado nacional e internacional.” (Nexxo, 1980).

1.1.4. Visión

Consolidar el liderazgo de la empresa en la industria nacional e Internacional, manteniendo una presencia sostenida y focalizada a dar soluciones innovadoras y creativas al entregar servicios especializados, de tal manera que sean valoradas por los clientes, superando incluso sus expectativas. (Nexxo, 1980).

1.2. EQUIPO KAMAT

1.2.1. Descripción del equipo

El equipo Kamat (Figura 1-2) es un conjunto de componentes mecánicos, comandados por una bomba de alta presión, este equipo es utilizado para limpieza o remoción de residuos en lugares industriales, en minería es utilizado para la remoción de material acumulado en zonas críticas.



Fuente: Ficha de equipos, imagen de equipo Kamat con sus componentes

Figura 1-2 Equipo Kamat y sus componentes

1.2.2. Componentes del equipo

El equipo “Kamat” se conforma principalmente de una bomba de alta presión marca Kamat (Alemania) modelo: K40036_A_D con una cantidad de 3 pistones de 36 (mm) de diámetro

y cuenta con una presión máxima de 1100 (bar), también trabaja con un motor diésel marca Volvo modelo: Penta (TAD1642VE) con velocidad de giro de 1800 (rpm) y potencia de 662 (hp), a su vez equipa una PTO modelo: SP314-PI con una cantidad de 3 discos (balatas), una bomba centrífuga, un filtro primario y otro secundario, un estanque de agua, una válvula compensadora, reguladora de presión y un tablero de control eléctrico.

1.2.3. Funcionamiento del equipo

En primera instancia el agua es transmitida desde el estanque hasta el filtro primario donde se limpia el agua de cualquier residuo, después es enviada a la bomba centrífuga, para luego pasar por el filtro secundario y ser llevada a la bomba de alta presión, al mismo tiempo el motor es el encargado de generar la potencia necesaria, la cual es llevada mediante las poleas de transmisión a la PTO quien se encarga de transformar la transmisión hacia la bomba de alta presión, a la bomba se conecta mediante fittings a una pistola que es la encargada de expulsar y dirigir el agua a altas presiones, con la ayuda de la válvula compensadora se regula la presión con la que se desee trabajar, todo es esto monitoreado y controlado por el tablero eléctrico.

1.3. **PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO**

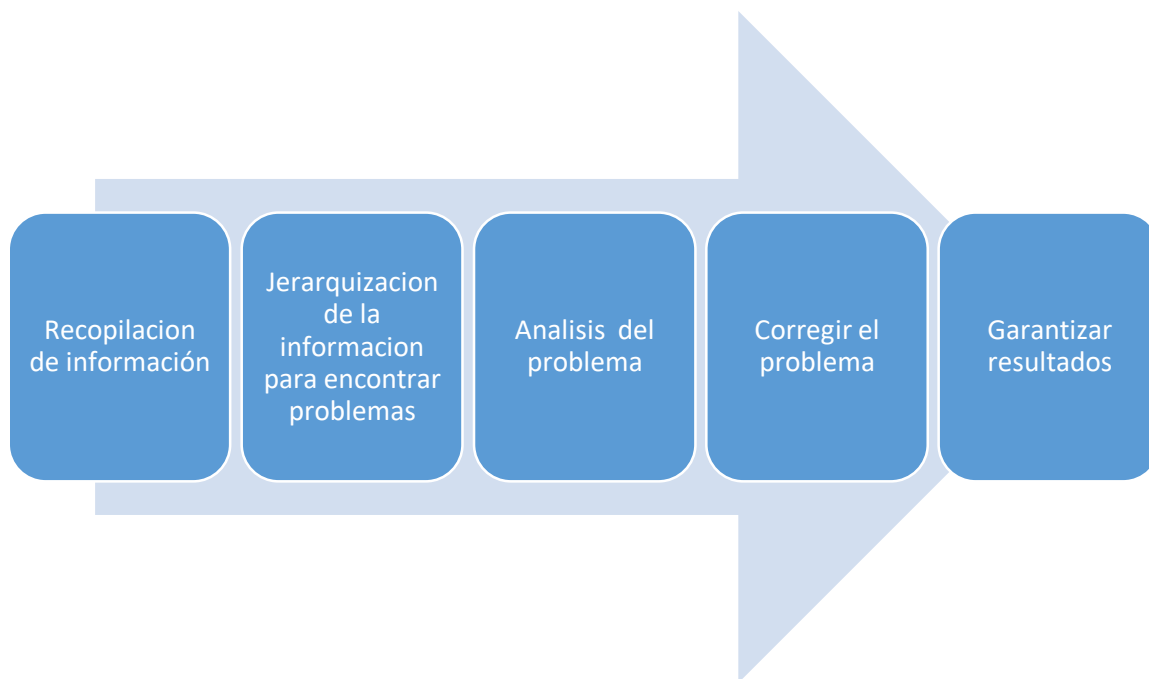
El Equipo Kamat es muy cotizado en el mercado debido a que su uso industrial como lo es la limpieza es ampliamente requerido por las distintas empresas que contratan sus servicios. Debido a esto para Nexxo es indispensable que el equipo debe estar operativo el máximo de tiempo y la generación de un plan regulador de las mantenciones que deben realizarse para asegurar que la vida útil de trabajo se extienda al máximo del conjunto.

Siendo el equipo Kamat el sistema central en la problemática se deben analizar los subsistemas que lo componen, lo cual se hará de manera centralizada en el o los equipos críticos que serán determinados luego de la creación y posterior estudio de una matriz cualitativa de riesgos, que medirá distintas variables y graduará la criticidad de cada componente involucrado en el proceso productivo del equipo.

Una vez hallados los subsistemas críticos se procederá a la filtración de la información histórica para encontrar las fallas más recurrentes o las que producen tiempos de inactividad operacional mayores. Mediante ACR se buscará determinar los orígenes de las averías y los pasos a seguir para prevenir futuras detenciones en el equipo, realizando mejoras en los planes de mantención e inspección ya existentes para así aumentar la confiabilidad del equipo Kamat.

Finalmente se propondrán las medidas de acción para que la empresa decrete el nuevo plan de mantenimiento, si se adecua a las necesidades de la compañía, efectuando estimaciones de las ganancias respecto a la reducción de los tiempos de parada del equipo, entregando la eficacia de las operaciones de mantenimiento determinadas en este proyecto.

Se determinará el proyecto en base el siguiente diagrama (Figura 1-3), donde se organizarán las medidas de acción, desde recopilar la información técnica hasta finalmente garantizar los resultados de la propuesta de mejora al plan de mantenimiento realizando un análisis de causa raíz para encontrar las posibilidades de mejora.



Fuente: Creación propia, proceso para realización de análisis causa raíz

Figura 1-3 Diagrama de proceso para realizar propuesta de mejora

1.3.1. Análisis de la criticidad de los subsistemas

Para poder generar una mejora al plan de mantenimiento del equipo, es necesario definir la criticidad de los componentes para así determinar que subsistemas requieren de mayor atención y centrar las mejoras en estos para así aumentar la disponibilidad de los activos

Se realizará una matriz cualitativa de riesgos que permitirá identificar y jerarquizar las medidas de mantención para dirigir los recursos. En primera instancia es necesario recopilar la información histórica de fallas documentadas en los reportes de operación y mantención del equipo para posterior clasificación. Se debe distinguir claramente las detenciones por falla y las generadas por las mantenciones preventivas.

Los datos recabados esenciales que se necesitan son:

- Fecha
- Duración de la detención
- Componente del sistema o subsistema
- Tipo de mantención

Para posterior análisis se clasificará (Tabla 1-1) de la siguiente manera de la información recopilada.

Tabla 1-1 Organización y clasificación de la información

Subsistema	Fecha	Duración de la detención	Modo de falla	Tipo de mantención realizada

Fuente: Elaboración propia, tabla Excel para clasificación de la información

A partir de la matriz de riesgo de criticidad o riesgo crítico (Tabla 1-2), la cual es una herramienta que tiene como objetivo, evaluar, categorizar y jerarquizar los componentes que deben tener una mayor atención en el sistema para la creación de eficaces planes de mantención.

Tabla 1-2 Matriz de criticidad

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

Fuente: Ingecon, Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos

A partir del modelo de Criticidad Total por riesgo (CTR), el cual es un proceso de análisis cualitativo, que se entiende como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad de este. Se dará un valor a los eventos para determinar el riesgo crítico de las distintas fallas que tienen influencia en el funcionamiento del equipo.

Las expresiones utilizadas para determinar la jerarquización de los activos se presentarán de la siguiente manera.

$$CTR = FF \times C$$

Dónde: CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de las fallas (rango de fallo determinado (fallos/años))

C: Consecuencia de los eventos de fallos

Luego se debe determinar el valor de las consecuencias (C), que se obtiene a partir de las siguientes expresiones.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Dónde: IO: Factor de impacto en la producción.

FO: Factor de flexibilidad operacional.

CM: Factor de costes de mantenimiento.

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

1.3.2. Criterios de evaluacion para la creacion de una matriz cualitativa de riesgos

- a) Frecuencia de fallas (FF): Número de fallas registradas en el tiempo acotado de 1 año con escala de 1 al 4.

Tabla 1-3 Tabla de frecuencia de fallos

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= $FF * ((IO*FO) + CM + SHA)$	
Frecuencia de fallos (FF)	
Valores	Criterio
4	BAJA: Más de 5 fallos/año
3	PROMEDIO: Entre 3 a 4 fallos/año
2	BUENA: Entre 2 a 3 fallos/año
1	EXCELENTE: 1 o menos fallos/año

Fuente: Creación propia, tabla excel cualitativa de las frecuencias de fallos

- b) Factor de impacto operacional (IO): Se determinará por los efectos que produzcan las fallas en la normal operación del equipo con escala de 1 al 10.

Tabla 1-4 Tabla de impacto operacional

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= $FF * ((IO*FO) + CM + SHA)$	
Impacto operacional (IO)	
Valores	Criterio
10	Parada del equipo y llevar a taller
7	Parada del equipo para cambio de componente por falla media
5	Parada del equipo con arreglo de técnico en terreno por falla menor
3	Parada por falla menor arreglada por operario
1	No genera gastos operacionales

Fuente: Creación propia, , tabla excel cualitativa del impacto operacional de fallas.

- c) Flexibilidad operacional (FO): Se valoriza el nivel de capacidad para afrontar la falla sin generar grandes perdidas de producción con escala de 1 a 4.

Tabla 1-5 Tabla de factor operacional

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= $FF * ((IO*FO) + CM + SHA)$	
Factor operacional (FO)	
Valores	Criterio
4	No existe reparación y no hay repuesto en bodega.
2	Se logra reparar con tiempos extensos de trabajo.
1	Se puede superar la avería o cambio de componente sin retrasos.

Fuente: Creación propia, , tabla excel cualitativa del factor operacional de fallas.

- d) Costes de mantenimiento (CM): Son los costos asociados a suplir las necesidades de mantenimiento del equipo.

Tabla 1-6 Tabla de costos de mantención

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= $FF * ((IO*FO) + CM + SHA)$	
Costos de mantención (CM)	
Valores	Criterio
2	Mayores o iguales a \$150.000
1	Menores a \$150.000

Fuente: Creación propia, tabla excel cualitativa de los costos de mantención por fallas.

- e) Impacto en seguridad, higiene y medioambiente: Hace referencia a los posibles daños que puede existir con la seguridad de las personas y al medioambiente y a la manera de evaluar estos hechos con escala del 1 al 8.

Tabla 1-7 Tabla impacto en seguridad, higiene y medioambiente

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= FF * ((IO*FO) + CM + SHA)	
Impacto en seguridad, higiene y medioambiente (SHA)	
Valores	Criterio
8	Falla puede poner en serio riesgo la vida de las personas
6	Falla puede generar daño a la salud de las personas y/o provocar incidente ambiental o afectar con daños las instalaciones
4	Se genera leve daño a la salud de las personas y poco daño al medioambiente
2	Daña al medioambiente dentro de las normas
1	No genera peligro para las personas ni al medioambiente

Fuente: Creación propia, tabla excel cualitativa del impacto en seguridad, higiene y medioambiente.

1.3.3. Matriz de riesgo cualitativa de criticidad

Se generará la tabla de criticidad mediante la evaluación de cada subsistema que componen el equipo Kamat, según los criterios definidos anteriormente y la información recabada desde los reportes de mantención, además de la experiencia de los propios supervisores y técnicos que se encuentran encargados de mantener el equipo operativo para suplir las necesidades de la empresa y los clientes que hacen uso de los servicios de Nexxo.

Tabla 1-8 Tabla de criticidad de los subsistemas

MATRIZ CUALITATIVA DE RIESGO CRITICO						
Subsistema	FF	IO	FO	CM	SHA	CRITICIDAD
Bomba alta presión	3	10	2	2	8	90
Motor diésel	2	5	1	1	8	28
PTO	2	7	2	1	2	34
Bomba centrífuga	3	7	1	1	6	42
Filtro primario	1	1	1	1	2	4
Filtro secundario	1	1	1	1	2	4
Estanque de agua	1	1	1	1	1	3
Válvula compensadora y reguladora de presión	3	7	1	1	1	27
Tablero eléctrico	1	1	1	1	4	6

Fuente: Creación propia, tabla Excel de evaluación de riesgos críticos de los subsistemas.

A partir de los datos evaluados en la matriz cualitativa de criticidad, en base a la frecuencia de mantenimientos necesarios para solucionar los problemas provocados por las fallas y las consecuencias que acarrearán estas, y según los parámetros establecidos para medir la incidencia de estos en el proceso productivo del equipo es posible determinar que el subsistema que se encuentra en riesgo crítico de falla es la bomba de alta presión utilizada para generar la presión requerida para llevar a cabo las funciones del equipo Kamat.

Ahora encontrado el subsistema crítico se procede al estudio de la bomba de alta presión, sus antecedentes y datos técnicos para determinar su funcionalidad.

1.4. BOMBA DE ALTA PRESIÓN

La bomba de alta presión es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, que tiene como función el de aumentar la presión del agua a través de confinar el líquido en una recámara cilíndrica, donde se ubican los pistones, para que esta sea expulsada a una alta velocidad al momento de compresión del cilindro y así poder realizar las tareas de limpieza industrial para lo cual es principalmente utilizada. La bomba de alta presión es el subsistema principal en el equipo, es de marca Kamat, el nombre de la marca es el que se usa para denominar al sistema completo.



Fuente: Fotografía propia, imagen de placa característica de bomba de alta presión Kamat

Figura 1-4 Placa bomba alta presión



Fuente: Fotografía propia, imagen de carcasa bomba de alta presión Kamat

Figura 1-5 Carcasa bomba alta presión Kamat



Fuente: Fotografía Propia, imagen de cabezal bomba alta presión Kamat

Figura 1-6 Cabezal bomba alta presión

1.4.1. Características técnicas de la bomba de alta presión

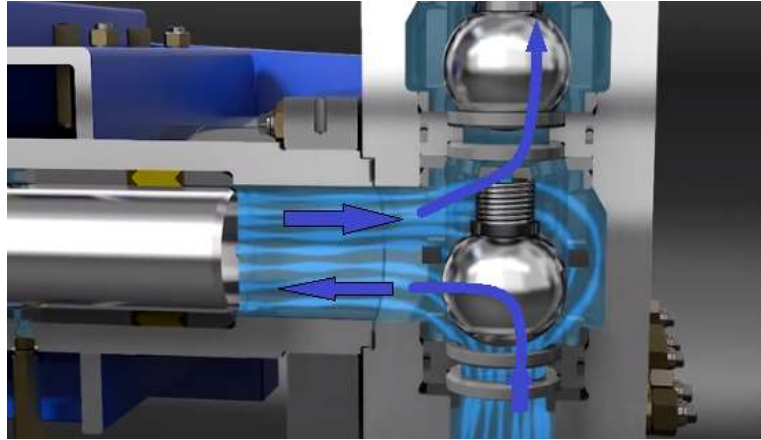
Tabla 1-9 Características técnicas de bomba de alta presión

Características tecnicas bomba alta presion	
Marca	Kamat (Alemania)
Modelo	K40000
Presion de trabajo	3500 [bar] a 58 [bar]
Caudal	1310 [l/min] a 155 [l/min]
Potencia	550 kW
Relacion de transmision	4,05:1
Velocidad de giro	1780 (rpm)
Cantidad de pistones	3 (ceramico)
Diametro de pistones	36 (mm)
Aceite de lubricacion	Mobil DTE AA

Fuente: Creación propia, información equipos empresa Nexxo S.A.

1.4.2. Descripción del funcionamiento de la bomba de alta

La bomba Kamat es una bomba del tipo hidráulico que opera con 3 pistones ubicados en línea, y su funcionamiento consiste en succionar agua a través de una válvula succionadora y posteriormente depositarla en el compartimiento del cilindro para ser finalmente expulsada por la válvula de descarga, obteniendo un alto caudal de agua que es controlado por la velocidad del movimiento de los pistones.



Fuente: Captura de video, Funcionamiento de bomba de alta presión.

Figura 1-7. Funcionamiento de bomba alta presión

|

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE FALLAS EN SUBSISTEMA CRÍTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

2. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EN SUBSISTEMA CRÍTICO.

En este capítulo se abordará el subsistema crítico, determinado a través de la matriz cualitativa de riesgo para el análisis de su falla más recurrente obtenida en la recopilación de información histórica realizada de los reportes en las actas de recepción emitidas por los encargados del mantenimiento del equipo Kamat.

Se procede al filtrado de la información en la bomba de alta presión, perteneciente al conjunto, del cual se determinará la falla que presenta mayores recurrencias en el proceso operativo del equipo, provocando la mayor cantidad de detenciones.

Luego se realizará un análisis de causas y efectos para encontrar las posibles causas que originan la avería, basado en las opiniones vertidas por los técnicos y supervisores de la empresa, de la para la realización del proyecto.

Finalmente se expondrán las soluciones para mitigar las causas que provocan la falla, se definirá los pasos a seguir o elementos que se deban utilizar para posteriormente incorporar en los planes preventivos y mejorar la disponibilidad del equipo.

2.1. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ FALLA CRÍTICA BOMBA ALTA PRESIÓN.

Se detectará la falla crítica en el subsistema para luego realizar un diagrama de Ishikawa de esta, donde se realizará un análisis de los datos obtenidos y poder seleccionar soluciones que se pueden realizar, con la finalidad de aumentar la disponibilidad del equipo.

2.1.1. Detección falla crítica en subsistema

La bomba de alta presión, marca Kamat, es el subsistema crítico en el equipo, por lo que se realiza un estudio de las fallas más recurrentes que presenta y posterior filtrado para determinar

la principal avería que en consecuencia genera los tiempos de detención mayores, debido al tiempo que debe pasar en taller, haciendo que la disponibilidad operativa del equipo se vea afectada.

Mediante la organización de la información histórica de las actas de entregas (figura 2-1) se determinó la falla más recurrente y que provocaba detención del equipo era debido a fugas de agua en el cabezal de la bomba de alta presión.

		ACTA DE RECEPCION		DEPARTAMENTO MANTENCION	
				Código: R9-PDL-08 Fecha: 15 Dic. 2015 Rev. 00	
OT:	145	EQUIPO:	BOMBA ALTA PRESION	FECHA:	10-01-2019
LN:	ALTA PRESION	MARCA:		SOLICITANTE:	
CONTRATO:	DD.AA	MODELO:	KAMAT	N° INFORME:	
INFORME DE RECEPCION					

El equipo se recepciona e inspecciona al exterior del taller, para mantencion correctiva, se informa que bomba presenta fuga de agua entre el cabezal y la valvula, tambien se recepciona para una mantencion preventiva mediante el cambio de los siguientes componentes:

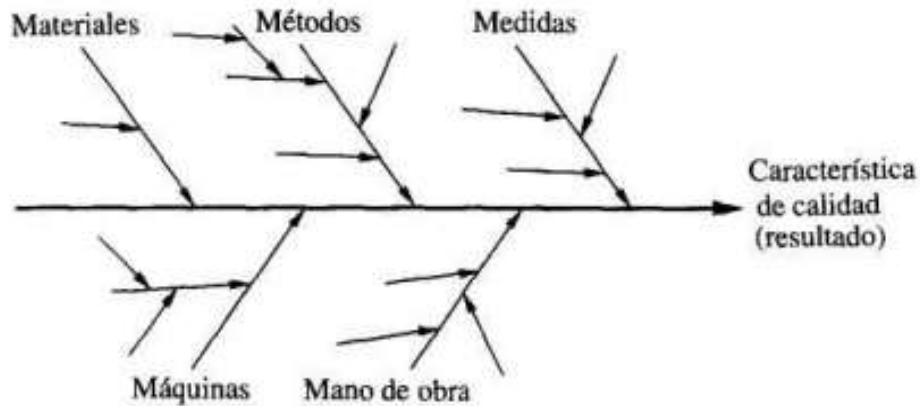
- Filtro de aceite Fleetguard LF3000
- Filtro decantador Fleetguard FS19732
- Filtro combustible Fleetguard FF5488
- Filtro refrigerante Fleetguard 2071
- Filtro de Aire Donaldson P777868 - p777869
- Aceite Mobil 1400 15w-40 (38 LTS.)

Fuente: Acta de recepción equipo Kamat perteneciente empresa Nexxo S.A.

Figura 2-1 Acta de recepción equipo Kamat

2.1.2. Diagrama causa efecto de falla crítica.

Para el análisis de la falla critica del subsistema, se realizará un diagrama de Ishikawa (figura 2-2) que ayudará a determinar las posibles causas de la avería y a definir las medidas de acción que se deben tomar para realizar las mejoras correspondientes a la bomba de alta presión.



Fuente: Imagen extraída de libro “Introducción al control de calidad”.

Figura 2-2 Diagrama de Ishikawa, con método de las 5 “emes” para análisis causa raíz.

El diagrama de Ishikawa o bien conocido como diagrama de espina de pescado, es una herramienta que en primera instancia determina un efecto de falla, el cual se debe colocar en la cabeza del esquema y posteriormente en las espina se organiza la información para determinar las causas raíces que pueden incidir en la ocurrencia de las averías. Las causas se deben definir realizando una recopilación de las opiniones vertidas de las personas que se encuentran en contacto directo con el equipo.

Este diagrama no entrega las soluciones a la problemática, sino que explica a qué se debe, pero es el paso previo para analizar y posteriormente corregirlos.

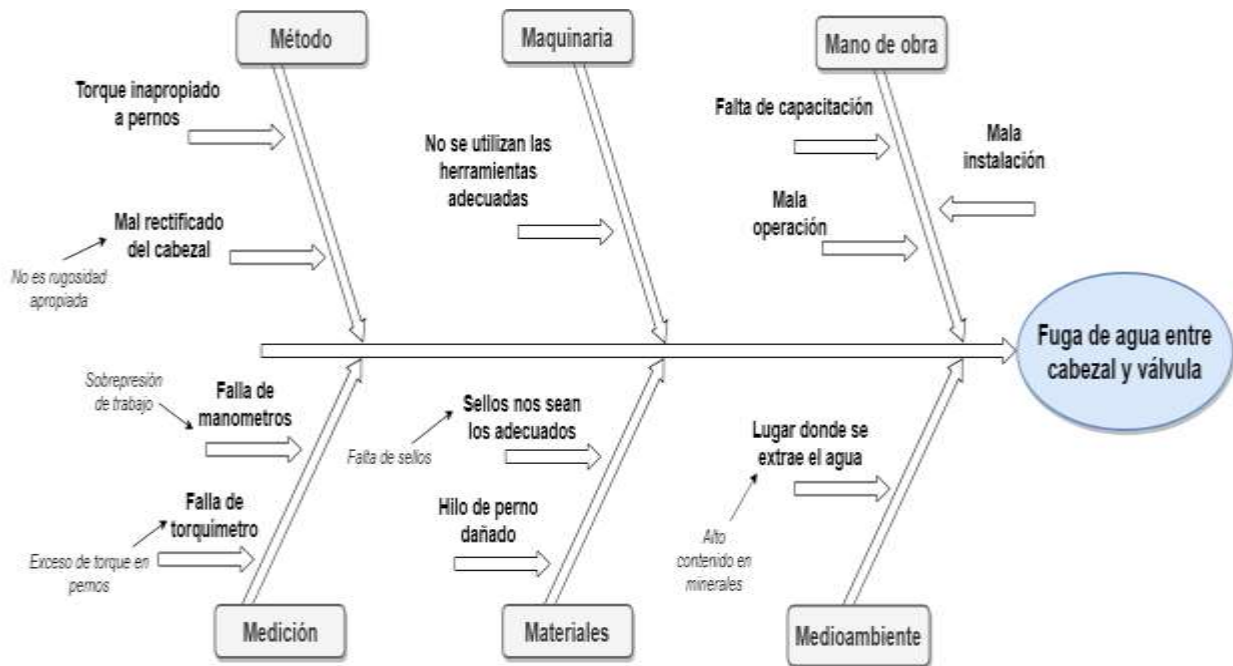
Para realizar el diagrama primero se debe identificar el problema principal o efecto, que según los datos obtenidos son las fugas de agua en el cabezal de la bomba de alta presión, del cual se busca encontrar las posibles razones que inciden en la ocurrencia de estas fallas.

Posteriormente en conjunto con los mecánicos responsables en el mantenimiento del equipo, se realiza una lluvia de ideas de las posibles causas que provoca las fallas, organizando la información en el diagrama de Ishikawa.

En este caso se utiliza el método de las “6M” para definir 6 grupos principales y agrupar las causas de fallas por categorías, lo cual es la forma más común para realizar este tipo de análisis.

Se definen los grupos principales como Mano de obra, Materiales, Métodos, Maquinaria, Medio ambiente, Medición.

- Mano de obra: Evaluar las posibles causas debido a la operación o instalación de los equipos. Los aspectos a considerar son conocimientos, entrenamiento, habilidad y capacidades de los trabajadores.
- Maquinaria: Se evaluará los equipos y herramientas que se ocupan en instalación, mantención y operación del equipo. Factor clave a considerar las herramientas que se ocupan en la mantención.
- Método: Este grupo determina como se están realizando las distintas tareas y actividades en el equipo. Los factores claves a considerar serán la estandarización de las tareas.
- Medición: Determinará la disponibilidad de instrumentos de medición y la calibración de estos.
- Materiales: Se evaluará los materiales usados en las actividades programadas en el equipo. Los factores a considerar son si estos son los materiales correctos.
- Medioambiente: Se determina a través del lugar en que se trabaja, el tipo de zona geográfica. Aspecto a considerar es el agua de trabajo.



Fuente: Elaboración propia de Diagrama de Ishikawa

Figura 2-3 Diagrama de Ishikawa para falla de fuga entre cabezal y válvula.

2.1.3. Análisis de diagrama de Ishikawa

Una vez realizado el diagrama de Ishikawa se procederá a analizar cada causa, para determinar el orden de importancia de estas y seleccionar las oportunidades de mejora que se puedan encontrar.

a) Método:

- Torque inapropiado a pernos: Es una clara causa de falla, pero los mecánicos cuentan con capacitaciones y pautas de trabajo con las especificaciones correspondientes de las tareas.
- Mal rectificado del cabezal: Puede presentar una rugosidad que no cumple con los requerimientos, pero los trabajos son realizados y evaluados si cumplen con los requerimientos para la instalación.

b) Maquinaria:

- No se utilizan las herramientas correspondientes: Los mecánicos cuentan en los talleres con las herramientas necesarias para realizar los trabajos de mantención de la mejor manera.

c) Mano de obra:

- Falta de capacitación: Los trabajadores cuentan con las competencias necesarias para la realización de las distintas tareas.
- Mala operación: Los operarios son capacitados para no sobrecargar y no realizar acciones que coloquen en riesgo al equipo
- Mala instalación: Existe una alta posibilidad de cometer errores al momento de realizar las mantenciones y posterior instalación, debido a que las pautas de trabajo no indican los métodos de trabajos detallados para una correcta mantención del equipo.

d) Medición:

- Falla de manómetros: Una falla en los manómetros puede hacer que se trabaje con una presión mayor a la capacidad de la bomba, pero los equipos de medición presentes son mantenidos y cambiados regularmente para que muestren una cifra real de medición.
- Falla de torquimetro: Puede derivar en un apriete incorrecto de los pernos, pero las herramientas son calibradas y probadas para asegurar que se encuentren en buen estado.

e) Materiales

- Sellos que no sean los adecuados: Se ocupan los sellos recomendados de fábrica, pero es posible que se pueda agregar algún otro tipo de sello para asegurar que el agua no salga por el cabezal.
- Hilo de pernos dañados: Los hilos de pernos se pueden dañar por la oxidación al trabajar con agua, pero se realiza una inspección cada vez que se practican las mantenciones y se protegen con sellantes que los protegen de la degradación de fluidos.

f) Medioambiental:

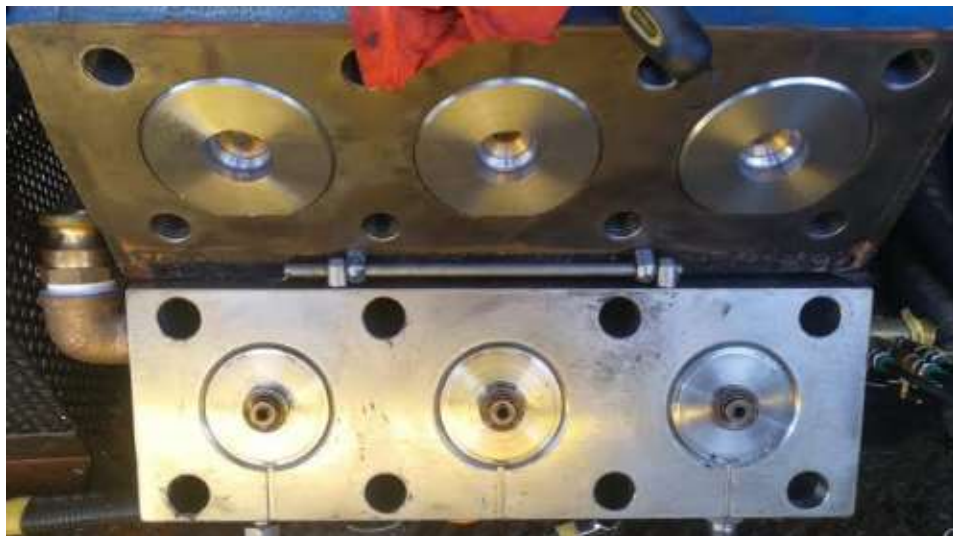
- Lugar donde se extrae el agua: Puede ser que el agua que se extrae en distintas zonas lleve consigo más minerales o un grado de acidez y hacer que el agua degrade los sellos, aunque los filtros deberían de poder entregar un líquido apto para ser utilizado sin desgastar en exceso los componentes.

2.1.4. Conclusión Ishikawa

El análisis realizado de las causas de fallas permite descartar fácilmente y encontrar las soluciones al efecto que conllevan, en este caso el estudio de los 6M permite la selección de las oportunidades de mejora.

La revisión y corrección de las pautas de trabajo debe ser un punto clave para descartar las malas acciones realizadas por los mantenedores, por otro lado, el problema de los sellos fue el más comentado entre los trabajadores, quienes encontraban que la falta de algún sellador entre el cabezal y las válvulas debería aminorar las fugas

Con la recomendación de los mecánicos se llegó a la conclusión de que agregar un sellador liquido en los pernos de fijación del cabezal y la revisión de las pautas de trabajos, con el fin de actualizar y mejorar las acciones que se deban realizar para asegurar el correcto mantenimiento del equipo.



Fuente: imagen en terreno de cabezal abierto para mantención

Figura 2-4 Cabezal de bomba de alta presión Kamat.

2.2. SOLUCIÓN A FALLA CRÍTICA

La solución a la problemática de la falla crítica consistirá en la revisión de los planes de mantenimiento y las pautas de trabajo de la Bomba de alta presión, en donde se determinarán las falencias que presentan al momento de realizar las acciones correctivas y preventivas del equipo.

Además, se buscará un sellador óptimo que según las condiciones de trabajo del equipo pueda evitar o mitigar las fugas en el cabezal de la bomba.

2.2.1. Revisión de pautas de trabajo y planes de mantenimiento existentes.

Entre las acciones de mantenimiento que se realizan en el equipo es el cambio de las empaquetaduras y la sustitución de válvulas, procesos pertenecientes al mantenimiento preventivo, de los cuales se basó la evaluación de unas de las soluciones. Para ello se recopiló información a través de informes antiguos y con material perteneciente específicamente al equipo Kamat, además de conversaciones sostenidas con los mecánicos donde entregaban sus experiencias con la bomba de alta presión.

Se procedió a determinar que los procedimientos de trabajos no son completamente detallados, por lo que es altamente probable que, en las mantenciones programadas, o bien los trabajos correctivos puedan ser obviadas algunas acciones que garanticen el buen funcionamiento del equipo.

Entre las acciones que se deben garantizar el buen trabajo están:

- Limpieza.
- Formas de extraer y colocar los sellos.
- Herramientas que se deben utilizar.
- Lubricación de las partes.
- Adición de un sellador para los pernos del cabezal.

2.2.2. Sellador mecánico para mitigar las fugas.

La forma de determinar el sellante óptimo para ser aplicado en la bomba de alta presión es en primera instancia estudio de las diferentes partes que entran en contacto en las zonas que se produce la fuga de agua. Las partes que se encuentran en contacto son el cabezal, lugar en que van ubicados los cilindros de la bomba de pistones, las válvulas, y los pernos de unión.

En relación a lo anterior, entre los sellos existentes en el mercado que pueden mitigar las fugas son los sellos entre juntas mecánicas y por otra parte los sellos de tornillos.

Un sellador mecánico útil entre juntas debe ser un tipo de silicona que evite la presencia de aire, entre las superficies metálicas, con esta acción evitar las posibles fugas ocasionadas al trabajar en alta presión. También un sellador de tornillos puede ser ideal a la hora de asegurar un buen funcionamiento del equipo y evitar las fugas ocasionadas por algún deterioro o mala instalación de los tornillos de sujeción entre el cabezal y las válvulas.

2.2.2.1. Sellador Loctite

Para asegurar un buen trabajo, se determinó utilizar una marca de selladores específicos y con presencia en la industria a nivel nacional. Se optó por utilizar los selladores Loctite, empresa perteneciente al grupo alemán Henkel. El sellador proporciona una junta de alto rendimiento y gran confiabilidad gracias a su elasticidad y resistencia a la mayoría de los fluidos utilizados en la industria.



Fuente: Captura de pantalla, henkel-adhesives.com

Figura 2-5 Logotipo marca Loctite

Entre los selladores encontrados se determinó que el único que puede garantizar su funcionamiento es un sellador de roscas, descartando un sellador entre juntas mecánicas, debido a que en el mercado no existe uno que pueda trabajar a altas presiones como las que opera el equipo.

2.2.2.2. Sellador de roscas Loctite 2760



Fuente: Captura de pantalla, henkel-adhesives.com

Figura 2-6 Sellador Loctite 2760

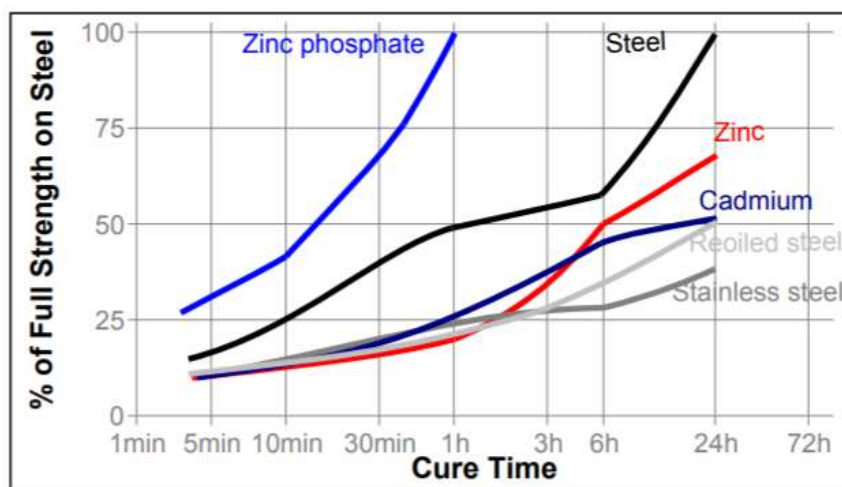
Este tipo de sellador es del tipo silicona de color rojo, es efectivo para trabar roscas que se encuentren en trabajos hidráulicos, donde se requiera una alta resistencia a impactos, estrés y vibraciones.

Tiene un rápido curado o secado, alcanzando su máxima capacidad a las 24 horas de aplicado el producto y trabaja en condiciones de temperatura extrema entre los -54 °C a 150 °C.

Tabla 2-1 Características técnicas de sellador Loctite 2760

Características técnicas de sellador Loctite 2760	
Color	Rojo
Estado una vez secado	Media - tixotrópico
Temperatura de trabajo [°C]	-54 a 150
Velocidad de secado (fijación-total)	4 (hrs) – 24 (hrs)

Fuente: Ficha técnica de sellador Loctite 518



Fuente: Ficha técnica de sellador Loctite 2760

Figura 2-7. Porcentaje de fuerza de fijación versus tiempo de secado

Con la información entregada por el gráfico, en el cual se testeó el producto en distintos materiales según la norma de calidad ISO 10964, la cual se utiliza para la determinación del torque en elementos de fijación roscados utilizando selladores anaeróbicos, es posible determinar que el

sellador elegido cumple con las especificaciones para ser utilizado en la solución de las fugas presentes en el cabezal de la bomba de alta presión.

2.2.2.3. Método de aplicación de sellador

A continuación, se describirá los pasos a seguir para una correcta aplicación del producto sellador, los pasos son los siguientes:

Las roscas son orificios ciegos, por lo tanto, el producto se debe aplicar siguiendo las indicaciones del fabricante, las cuales es posible observar en la siguiente imagen.



Fuente: Manual de selladores Loctite.

Figura 2-8. Imagen explicativa aplicación de sellador de roscas

- Se deben limpiar todas las roscas con Loctite 7471 Primer, el cual debe ser pulverizado de forma directa para la limpieza de cualquier elemento contaminante.
- Luego se debe aplicar Loctite 7471 Activador T. y dejar secar, este elemento ayuda a aumentar la velocidad de curado de los selladores y asegurar así el correcto sellado.
- Se debe aplicar el sellador Loctite 2760 en el hilo del perno gota a gota, tal cual es mostrado en la imagen anterior.
- Finalmente se debe apretar el tornillo de manera normal.

2.2.3. Pautas de trabajo y actas de entrega.

Para asegurar que el material sea de fácil entendimiento y se cumplan los estándares mínimos en cada tarea de mantención, se creará una plantilla en formato digital, siguiendo los parámetros en los cuales trabaja la empresa. Este material se creará de forma que podrá ser utilizado de manera universal en cualquier equipo, para posteriormente crear nuevas pautas de trabajo.

Entre las informaciones que se encontrarán en las pautas, debe estar correctamente señalado los insumos y herramientas necesarias para iniciar los trabajos, además de los pasos a seguir con material fotográfico para facilitar la visión y entendimiento de las acciones a realizar. Se debe determinar la cantidad de mecánicos necesarios para llevar a cabo las tareas, el tiempo aproximado por tarea y además de las firmas de recepción y entrega.

Tanto las pautas de trabajo como las actas de entrega de los trabajos realizados, contarán con un sistema de “Check List” para determinar si se han ejecutado todos los pasos necesarios.

2.2.3.1. Pauta de trabajo

Se presentará el formato utilizado para las pautas de trabajos en formato Excel, el cual tendrá la información del equipo a intervenir, la fecha en que se han de realizar las acciones preventivas y un Check List con los insumos y herramientas necesarios para hacer de buena forma el trabajo en primera instancia.

Luego en la misma pauta se describirán las actividades paso a paso, con la compañía de imágenes para lograr que el trabajo se realice de manera limpia y de la forma correcta sin dar pie a segundas interpretaciones y con esto facilitar el trabajo de los mantenedores

		PAUTA DE TRABAJO			DEPARTAMENTO MANTENCION																																																																							
					Código Fecha: 09-01-2020																																																																							
EQUIPO:		FECHA:		MECANICOS (N°)																																																																								
MARCA:		SOLICITANTE:		TIEMPO																																																																								
MODELO:		N° INFORME:		ENCARGADO																																																																								
INSUMOS y HERRAMIENTAS																																																																												
EN ESTA ÁREA SE DEBEN AGREGAR LOS INSUMOS Y HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA LA REALIZACIÓN CORRECTA DE LAS ACCIONES DE MEJORA. .																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Insumos</th> <th colspan="2">Check list</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> </tbody> </table>		Insumos	Check list			SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Herramientas</th> <th colspan="2">check list</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td>SI</td><td>NO</td></tr> </tbody> </table>			Herramientas	check list			SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO		SI	NO
Insumos	Check list																																																																											
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
Herramientas	check list																																																																											
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										
	SI	NO																																																																										

Fuente: Creación propia, libro Excel que describe información respecto del equipo y Check List de insumos y herramientas

Figura 2-8 Check List pauta de trabajo

PASO A PASO	
ACTIVIDAD	IMÁGENES
OBSERVACIONES	

Fuente: creación propia, planilla de Excel que describe las actividades a realizar con respectivas imágenes del trabajo

Figura 2-9 Paso a paso de actividades preventivas

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO
DEL EQUIPO Y EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA**

3. PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO Y EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA

En el tercer y último capítulo de este proyecto se presentarán las mejoras al plan de mantenimiento del equipo Kamat, siendo el subsistema crítico determinado anteriormente donde se centrará la atención, además de presentar las mejoras a las pautas de inspección para el sistema completo.

Por otra parte, se determinarán los costos asociados a las mejoras y los beneficios económicos que conllevarán para el estudio de la empresa si desea realizar una futura implementación.

3.1. PROPUESTA DE MEJORAS AL PLAN DE MANTENIMIENTO

Con la finalidad de mantener la vida útil de los equipos industriales es necesaria la realización de distintos planes de mantenimiento, sean estos de tipo correctivos o bien preventivos, con el motivo de cambio de componentes que presentan fallas o bien el cambio de estos antes de que ocurra un evento que desencadene las detenciones imprevistas mientras se encuentran en operación los distintos equipos.

En el proyecto presentado se realizarán mejoras al plan de mantenimiento preventivo del subsistema crítico, donde se pondrá énfasis en la mantención del subsistema crítico, la bomba de alta presión, que viene determinado por el fabricante para ayudar a que el equipo aumente su disponibilidad, así la inversión realizada podría ser recuperada con el tiempo que se continuará utilizando el equipo antes de una próxima mantención.

3.1.1. Plan de mantenimiento preventivo

Un plan de mantenimiento preventivo es un tipo de mantenimiento planificado que tiene como objetivo realizar acciones programadas para la reparación o cambio de componentes de un equipo en periodos de tiempo fijos, independiente de la condición en que se encuentren estos, si están buenos o malos, con la finalidad de evitar futuras fallas mientras el equipo se encuentra en funcionamiento.

3.1.1.1. Beneficios de un mantenimiento preventivo.

Entre las ventajas que podemos enumerar están:

- Reduce las fallas de los equipos, disminuyendo los tiempos de detención y con esto aumentando la disponibilidad del equipo.
- Aumento en las condiciones de seguridad para los trabajadores.
- Disminuye costos de reparación al prevenir las mantenciones correctivas.
- Mejoras en los recursos destinados de la empresa para reparar fallas en los equipos.

3.1.1.2. Plan de mantenimiento preventivo bomba de alta presión

El plan de mantenimiento preventivo viene entregado de fábrica, por lo que las mejoras son en base a estos parámetros. El plan de mantenimiento realizado a la bomba de alta presión es muy completo, por lo que se realizarán mejoras a la forma en que se realizarán las acciones mediante las pautas de trabajo.

Las acciones de prevención, tanto en la sustitución de las válvulas como los sellos, se realizan cada 50 horas de trabajo, por lo que realizar de manera correcta estas acciones es imperativo para asegurar el funcionamiento del equipo.

CABEZAL BOMBA									
VERIFICAR SISTEMA DE LUBRICACION DE AGUA. (Presión y caudal del circuito se deben ajustar según la bomba)	*		*		*		*		*
VERIFIQUE TORQUE DE LA TUERCA PRENSA ESTOPA	*		*		*		*		*
VERIFICAR ESTADO DE DISCO DE RUPTURA. (Los disco deben ser inspeccionados e instalados)	*		*		*		*		*
VERIFICAR ESTADO DE VALVULAS, SELLO Y ASIENTO EN VALVULAS									
INSPECCIONAR FUGAS DE COMBUSTIBLE.			*		*		*		*
REALIZAR LIMPIEZA DE DIFUSOR CONECTOR DE DESCARGA ALTA PRESION.									
VERIFICAR ESTADO Y FIJACIÓN PLUNGERS					*				*
VERIFICAR ESTADO DE CONEXIONES	*		*		*		*		*
VERIFICAR SELLO Y ASIENTO EN VALVULA REGULADORA			*		*		*		*

Fuente: Pautas de mantenimiento preventivo equipo Kamat., de empresa Nexxo.

Figura 3-1. Pauta mantenimiento preventivo cabezal bomba alta presión.

3.1.2. Pautas de trabajo.

Para asegurar un trabajo de mantención óptimo es necesario definir la forma en que se debe llevar a cabo. Para esto se deben crear pautas de trabajo donde se determinarán las herramientas e insumos que son necesarios previo a comenzar las acciones preventivas. Luego describir los pasos que se deben realizar acompañados con material gráfico, como fotografías, que complementarán la información descrita para así ejecutar los trabajos de manera correcta.

3.1.2.1. Pautas de trabajo de equipo Kamat.

Entre las acciones preventivas que se deben realizar en la bomba de alta presión, se encuentran la sustitución de válvulas y el cambio de empaquetaduras del equipo. Debido a esto es que se confeccionarán unas pautas de trabajos que constan con los pasos a seguir, acompañadas de imágenes para asegurar la correcta realización de las acciones de mantención.

Es importante que además de entregar las pautas a los mantenedores, se les deba realizar una capacitación para poder entender el funcionamiento de estas.

La información que debe ser rellenada por los supervisores, son las fechas y los encargados de los trabajos de mantenimiento. El encargado de mantenimiento debe realizar el “Check List”, el cual contiene los insumos y herramientas necesarias para la realización de estas

tareas. En este trabajo previo es de suma importancia obtener todos los materiales, para optimizar los tiempos en los trabajos de mantención del equipo completo.

Luego el encargado en realizar las mantenciones debe guiarse en las actividades a realizar, donde se define el tipo de acción que debe realizar y las maneras en que se deben hacer, se apoya la información con imágenes del equipo que está trabajando. Además, como medida de prevención se determina que debe bloquear los equipos al comienzo del trabajo.

Finalmente, una vez realizadas las mantenciones se debe proceder a desbloquear y energizar los equipos para realizar pruebas operacionales, en este punto debe estar presente el supervisor para revisar y aprobar que se hayan terminado de manera correcta los trabajos.

Las pautas de trabajo también sirven como material histórico de que se han realizado las distintas acciones preventivas en los equipos y que fueron aprobados para ser utilizados por la empresa.

3.1.2.2. Sustitución de válvulas a bomba de alta presión.

Se mostrará la pauta de trabajo creada para la realización de la tarea de mantención de cambiar las válvulas del equipo. Se creó la pauta en base al cambio de una sola de las válvulas, por lo que se deben realizar las mismas acciones en cada una de las válvulas que contiene la bomba de alta presión, en este caso son 6 veces que se deben realizar las acciones para poder terminar el trabajo de manera correcta.

Lo primera que se debe realizar es el Check List de los insumos y herramientas necesarias para realizar las acciones y marcar si están disponibles antes de comenzar a trabajar.

		PAUTA DE TRABAJO			DEPARTAMENTO MANTENCION																																																																			
					Código: Fecha: 09-01-2020																																																																			
EQUIPO	BOMBA DE ALTA PRESION	MECANICOS(N°)	1	TRABAJO	CAMBIO DE VALVULAS																																																																			
MARCA	KAMAT	TIEMPO	60 min	FECHA																																																																				
MODELO	K 40000	N° INFORME	2	ENCARGADO																																																																				
INFORME DE ENTREGA																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>INSUMOS</th> <th colspan="2">CHECK IN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>GUANTES</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>OVEROL</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>LENTES PROTECCIÓN</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>ZAPATOS SEGURIDAD</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>SELLO MECANICO MONORESORTE</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>SOLVENTE LIMPIADOR</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>HUAPE MECÁNICO</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>VALVULAS (6)</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		INSUMOS	CHECK IN		GUANTES	SI	NO	OVEROL	SI	NO	LENTES PROTECCIÓN	SI	NO	ZAPATOS SEGURIDAD	SI	NO	SELLO MECANICO MONORESORTE	SI	NO	SOLVENTE LIMPIADOR	SI	NO	HUAPE MECÁNICO	SI	NO	VALVULAS (6)	SI	NO										<table border="1"> <thead> <tr> <th>HERRAMIENTAS</th> <th colspan="2">CHECK IN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>LLAVE ESPAÑOLA</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>KIT EXTRACTOR DE VALVULAS</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>KIT EXTRACTOR DE SELLOS MONORESORTE</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td>KIT INSTALACIÓN SELLOS</td><td>SI</td><td>NO</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>					HERRAMIENTAS	CHECK IN		LLAVE ESPAÑOLA	SI	NO	KIT EXTRACTOR DE VALVULAS	SI	NO	KIT EXTRACTOR DE SELLOS MONORESORTE	SI	NO	KIT INSTALACIÓN SELLOS	SI	NO															
INSUMOS	CHECK IN																																																																							
GUANTES	SI	NO																																																																						
OVEROL	SI	NO																																																																						
LENTES PROTECCIÓN	SI	NO																																																																						
ZAPATOS SEGURIDAD	SI	NO																																																																						
SELLO MECANICO MONORESORTE	SI	NO																																																																						
SOLVENTE LIMPIADOR	SI	NO																																																																						
HUAPE MECÁNICO	SI	NO																																																																						
VALVULAS (6)	SI	NO																																																																						
HERRAMIENTAS	CHECK IN																																																																							
LLAVE ESPAÑOLA	SI	NO																																																																						
KIT EXTRACTOR DE VALVULAS	SI	NO																																																																						
KIT EXTRACTOR DE SELLOS MONORESORTE	SI	NO																																																																						
KIT INSTALACIÓN SELLOS	SI	NO																																																																						

Fuente: Creación propia, "Check List" pauta de trabajo.

Figura 3-2. Check List pauta de trabajo sustitución de válvulas.

Luego comienzan los pasos a seguir para realizar las acciones a realizar, es posible ver al lado izquierdo de la pauta los pasos a realizar y al lado derecho imágenes explicativas de las acciones que se deben realizar.

Además, en cada página, al final de estas, es posible observar un área que dice observaciones, en donde el encargado de realizar las mantenciones puede colocar información respecto al estado del equipo, posibles problemas que dificulten para la realización de las acciones y si es necesario algún tipo de actualización de las pautas si se estiman conveniente.

PASO A PASO	
ACTIVIDAD	IMAGENES
Desde tablero eléctrico desenergizar equipo.	
Bloquear equipo con candados de seguridad	
Con llave de torque, extraer pernos de junta del cabezal con la bomba.	
Separar manualmente cabezal de la bomba	
OBSERVACIONES	

Fuente: Creación propia, paso a paso de las acciones a realizar y zona de observaciones.

Figura 3-3. Paso a paso sustitución de válvulas

La pauta continua con los pasos a seguir por lo que se podrá observar la pauta completa en el Anexo 1.

3.1.2.3. Sustitución de sellos bomba alta presión

Al igual que en la pauta de trabajo realizada para la sustitución de sellos consta de un Check List previo a la realización de las acciones de mantención, donde el encargado debe ir marcando si tiene los insumos y herramientas necesarias para comenzar a trabajar.

		PAUTA DE TRABAJO			DEPARTAMENTO MANTENCION																																																																																											
					Código: Fecha: 09-01-2020																																																																																											
EQUIPO	BOMBA DE ALTA PRESION	MECANICOS(N°)	1	TRABAJO	SUSTITUCION DE SELLOS																																																																																											
MARCA	KAMAT	TIEMPO	60 min	FECHA																																																																																												
MODELO	K 40000	N° INFORME	1	ENCARGA																																																																																												
INFORME DE ENTREGA																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">INSUMOS</th> <th colspan="2">CHECK IN</th> <th style="width: 30%;">HERRAMIENTAS</th> <th colspan="2">CHECK IN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GUANTES</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td>LLAVE ESPAÑOLA</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>OVEROL</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td>LLAVE SACA SELLOS</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>LENTES PROTECCIÓN</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td>LLAVE DE TORQUE</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>ZAPATOS SEGURIDAD</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SELLO ORING 22X2 (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SELLO ORING 18X4 (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SELLO ORING 16X2 (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SELLO ORING 5X2 (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EMPAQUETADURA VALVULA/EMBOLO (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SELLO DE GOMAVALVULA (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DISCO DE RUPTURA (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SELLO MECANICO MONORESORTE (3)</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LUBRICANTE ORING</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LOCTITE</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							INSUMOS	CHECK IN		HERRAMIENTAS	CHECK IN		GUANTES	SI	NO	LLAVE ESPAÑOLA	SI	NO	OVEROL	SI	NO	LLAVE SACA SELLOS	SI	NO	LENTES PROTECCIÓN	SI	NO	LLAVE DE TORQUE	SI	NO	ZAPATOS SEGURIDAD	SI	NO				SELLO ORING 22X2 (3)	SI	NO				SELLO ORING 18X4 (3)	SI	NO				SELLO ORING 16X2 (3)	SI	NO				SELLO ORING 5X2 (3)	SI	NO				EMPAQUETADURA VALVULA/EMBOLO (3)	SI	NO				SELLO DE GOMAVALVULA (3)	SI	NO				DISCO DE RUPTURA (3)	SI	NO				SELLO MECANICO MONORESORTE (3)	SI	NO				LUBRICANTE ORING	SI	NO				LOCTITE	SI	NO			
INSUMOS	CHECK IN		HERRAMIENTAS	CHECK IN																																																																																												
GUANTES	SI	NO	LLAVE ESPAÑOLA	SI	NO																																																																																											
OVEROL	SI	NO	LLAVE SACA SELLOS	SI	NO																																																																																											
LENTES PROTECCIÓN	SI	NO	LLAVE DE TORQUE	SI	NO																																																																																											
ZAPATOS SEGURIDAD	SI	NO																																																																																														
SELLO ORING 22X2 (3)	SI	NO																																																																																														
SELLO ORING 18X4 (3)	SI	NO																																																																																														
SELLO ORING 16X2 (3)	SI	NO																																																																																														
SELLO ORING 5X2 (3)	SI	NO																																																																																														
EMPAQUETADURA VALVULA/EMBOLO (3)	SI	NO																																																																																														
SELLO DE GOMAVALVULA (3)	SI	NO																																																																																														
DISCO DE RUPTURA (3)	SI	NO																																																																																														
SELLO MECANICO MONORESORTE (3)	SI	NO																																																																																														
LUBRICANTE ORING	SI	NO																																																																																														
LOCTITE	SI	NO																																																																																														

Fuente: creación propia, "Check List" de pauta sustitución de sellos

Figura 3-4. Check List pauta de trabajo sustitución de sellos.

Al igual que en la pauta de sustitución de válvulas, se definirán los pasos a seguir con sus respectivas imágenes que ayudarán a la correcta realización de los trabajos, como también, se ha creado una zona de observaciones donde el mantenedor puede colocar sus apreciaciones o problemas que tenga mientras realiza los trabajos de mantención.

PASO A PASO	
ACTIVIDAD	IMAGENES
Desde el tablero electrico desenergizar por completo el equipo	
Bloquear equipo con candados de seguridad	
Con llave española aflojar tuerca prensaestopa para poder separar piston del cilindro	
Manualmente separar pistón del cilindro y luego con llave de torque quitar pernos de émbolo	
OBSERVACIONES	

Fuente: Creación propia, paso a paso de las acciones a realizar y zona de observaciones.

Figura 3-5. Paso a paso sustitución de sellos.

La pauta continua con los pasos a seguir para la correcta realización de la sustitución de sellos y empaquetaduras de la bomba de alta presión y puede ser revisada en el Anexo 2.

3.2. EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE MEJORAS.

Ya realizadas las mejoras al plan de mantenimiento, basadas en las técnicas utilizadas a lo largo del proyecto para determinar el subsistema critico se debe proceder a realizar una evaluación técnica y económica para determinar la factibilidad de implementarlas en un futuro por la empresa.

Se realizará en primera instancia una proyección de la disponibilidad del equipo asumiendo que se resolvieron los problemas que provocan las fallas y detenciones no programadas para posteriormente evaluar económicamente los beneficios que traen consigo.

3.2.1. Proyección de la disponibilidad

Como la finalidad del proyecto es detener las fallas que provocan detenciones del equipo, se realizará una comparativa entre las cantidades de fallas totales registradas en el equipo, y las fallas que se proyectan una vez solucionados en el subsistema crítico.

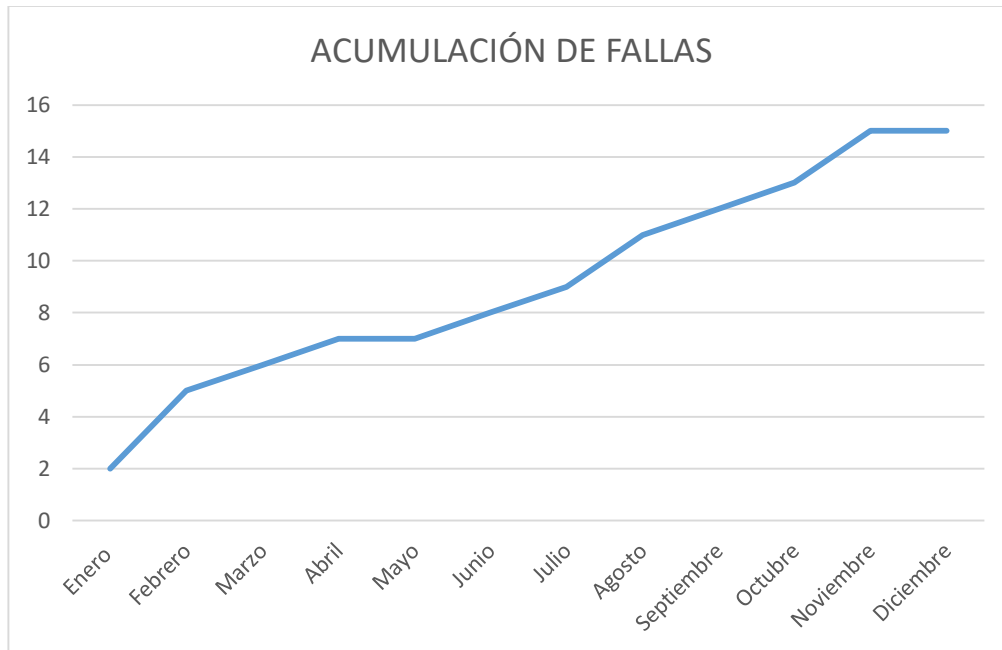
Para realizar esta proyección primero se ordenarán los eventos por equipos y meses en los que se registraron las fallas. Luego se sumarán las cantidades de fallas acumuladas durante el año para proyectar una gráfica que muestre el nivel de mejora.

Tabla 3-1. Eventos registrados durante 1 año.

EQUIPO/ MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL
Bomba alta presión		2						1	1				4
Motor diésel	1									1			2
PTO			1	1									2
Bomba centrífuga		1				1					1		3
Filtro primario													0
Filtro secundario													0
Estanque de agua													0
Válvula C. y R. de presión	1							1			1		3
Tablero eléctrico							1						1
TOTAL MENSUAL	2	3	1	1	0	1	1	2	1	1	2	0	15
SUMA	2	5	6	7	7	8	9	11	12	13	15	15	

Fuente: Creación propia, suma de eventos de fallos en el equipo Kamat

Se realiza el gráfico de líneas, representando las cantidades de fallas en la vertical y los meses que se están estudiando en la horizontal. La curva representa las sumas de los eventos provocados por las fallas durante el año completo.



Fuente: Creación propia, Gráfica de acumulación de fallas

Gráfico 3-1. Gráfico de acumulación histórica de fallas

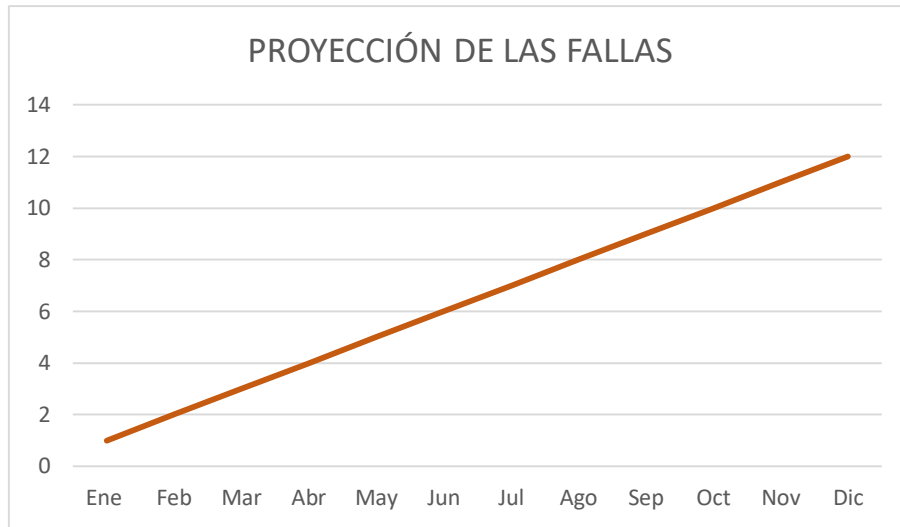
Para realizar la comparación, es necesario determinar la proyección de sumas de fallas totales durante un año. Se trabajará con una mejora porcentual en el mejor de los casos de un 75% en las fallas que ocurren en la bomba de alta presión anualmente. Para facilitar la observación se trabajará con la tabla y los valores obtenidos.

Tabla 3-2. Proyección de fallas del equipo

EQUIPO/ MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL ANUAL	MEJORA	TOTAL PROYECCIÓN
Bomba alta presión		2						1	1				4	75%	1
Motor diésel	1									1			2		2
PTO			1	1									2		2
Bomba centrífuga		1				1					1		3		3
Filtro primario													0		0
Filtro secundario													0		0
Estanque de agua													0		0
Válvula C. y R. de presión	1							1			1		3		3
Tablero eléctrico							1						1		1
TOTAL MENSUAL	2	3	1	1	0	1	1	2	1	1	2	0	15		12
SUMA	2	5	6	7	7	8	9	11	12	13	15	15			

Fuente: Creación propia, proyección de las fallas.

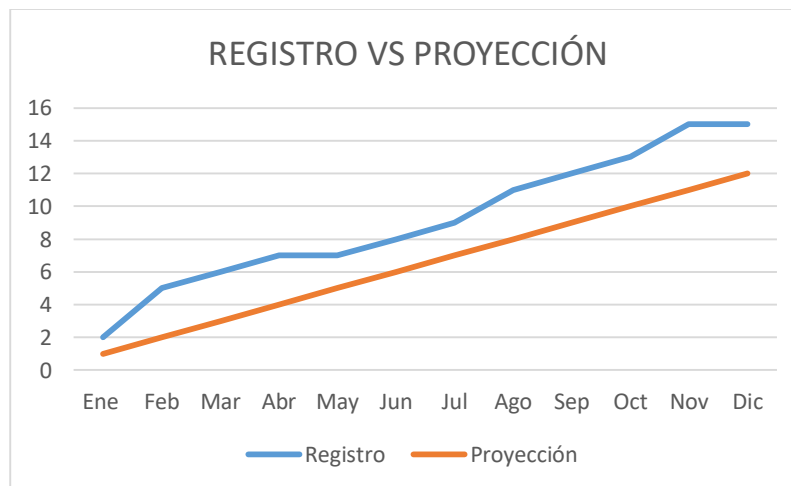
Según la proyección, obtenemos que en el mejor de los casos el equipo tendrá un total de 12 fallas que se registrarán durante un periodo de 1 año, por lo que en promedio se obtiene una 1 falla mensual. El cual es posible visualizar en el siguiente gráfico.



Fuente: Creación propia, Gráfica de proyección de fallas

Gráfico 3-2. Proyección de la acumulación de fallas del equipo.

Para poder visualizar con mayor facilidad se realizará la comparación en un mismo plano de los gráficos de las fallas históricas con la proyección creada en base a la disminución de los eventos de detención del equipo.



Fuente: Creación propia, comparativa de la acumulación de fallas históricas versus la proyección.

Gráfico 3-3. Comparativa de registros versus proyección.

Para poder obtener información útil de la comparación entre las gráficas, se dividirá esta en 3 periodos iguales de tiempo, es decir, en periodos de tiempo de 4 meses para realizar un análisis respecto a las pendientes de las curvas obtenidas.

Realizando esto es posible observar que, en el periodo comprendido entre los meses de enero y abril, en comparación a la recta de la proyección de fallas, existe una mayor alza de eventos en el equipo, por lo que podemos determinar que en este tiempo las fallas pueden deberse a distintas causales.

Entre las posibles causas está que en el periodo de verano los técnicos a cargo del equipo están con vacaciones, por lo que los trabajos de mantención son realizados por otros mecánicos que no están familiarizados con el equipo, y al no existir pautas claras de trabajo son más frecuentes las fallas en este periodo de tiempo.

Ahora bien, en la proyección disminuyen las fallas, y podemos utilizar este indicador para decir que, habrá menos detenciones del equipo durante un año de funcionamiento del equipo, y por ende esto provocará que la disponibilidad del equipo se vea proporcionalmente afectada de manera inversa, llevando a que esta aumente, por lo que podemos aseverar que la disponibilidad del equipo será mayor utilizando las pautas de trabajo confeccionadas para tener el equipo en trabajo más tiempo.

El equipo en promedio es arrendado 2 semanas al mes por lo que perder 1 día de trabajo es una mejora a las ganancias de la empresa, debido al corto tiempo de operación que tiene el equipo.

Según la fórmula de disponibilidad que asocia el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de las reparaciones, podemos asegurar que disminuyendo los fallos el valor de esta debería verse aumentado en una proyección de la disponibilidad.

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde tenemos que:

D: Disponibilidad

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio de reparaciones

3.2.2. Tiempo promedio de funcionamiento (MTBF)

Para determinar la disponibilidad es necesario conocer el tiempo medio entre fallas, el cual es un indicador utilizado para calcularla. Los valores que debemos conocer son la cantidad de fallos (n), el cual ya fue obtenido anteriormente o equipo en un periodo de tiempo, siendo en este caso de 12 meses, y los tiempos disponibles o, mejor dicho, las horas de trabajo reales a los que ha sido sometido, además, el tiempo total que se ocupa para solucionar las fallas.

$$MTBF: \frac{\textit{Tiempo disponible} - \textit{tiempo total de fallas}}{\textit{número de fallas}}$$

Ahora, si el equipo tiene un uso en promedio de 2 semanas al mes, según datos entregados por los encargados del equipo, y cuando existe una falla funcional, debe ser llevado a taller, por lo que el tiempo de falla se contabiliza como un día completo de trabajo, es decir, que cada falla tiene un tiempo para su solución de 9 horas, asumiendo que la jornada laboral en Chile son 45 horas de trabajo semanal.

Tabla 3-3. Horas de trabajo al año equipo.

Horas de trabajo disponible al año	
Horas de trabajo a la semana	45
Cantidad de semanas al mes	2
Horas de trabajo al mes	90
Meses de trabajo	12
Tiempo disponible	1080

Fuente: Creación propia.

Tabla 3-4. Horas de detenciones al año equipo.

Horas de detención al año	
Horas de detención por falla	9
Cantidad de fallas al año	15
Tiempo total de fallas	135

Fuente: Creación propia

Tabla 3-5. Tiempo medio entre detenciones

MTBF	
Tiempo disponible (h)	1080
Tiempo total de fallas (h)	135
Número de fallas (n)	15
MTBF	63

Fuente: creación propia

Suponiendo que las fallas al subsistema critico son eliminadas podemos obtener la proyección al MTBF, disminuyendo el tiempo de fallas y la cantidad de las mismas.

Tabla 3-6. Proyección horas de detención.

Proyección horas de detención al año	
Horas de detención por falla	9
Cantidad de fallas al año	12
Tiempo total de fallas	108

Fuente: Creación propia.

Tabla 3-7. Proyección MTBF

Proyección MTBF	
Tiempo disponible (h)	1080
Tiempo total de fallas (h)	108
Número de fallas (n)	12
MTBF	81

Fuente: Creación propia.

Podemos observar que el indicador del tiempo medio entre fallas ha aumentado, por lo que indica que el equipo tendrá un mejor valor en los tiempos de uso al año.

3.2.3. Tiempo medio de reparaciones (MTTR).

Otro de los indicadores necesarios para poder calcular la disponibilidad real es el tiempo medio de reparaciones, del cual debemos conocer la cantidad de fallas y el tiempo que toma reparar estos eventos.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

Tabla 3-8. Tiempo medio de fallas

MTTR	
Tiempo total de fallas (h)	135
Cantidad de fallas	15
MTTR	9

Fuente: Creación propia

Tabla 3-9. Proyección tiempo medio entre fallas.

Proyección MTTR	
Tiempo total de fallas (h)	108
Cantidad de fallas	12
MTTR	9

Fuente: Creación propia

Podemos observar que la proyección de los tiempos de fallas es la misma, esto debido a que cada mantención de emergencia toma el mismo tiempo en ser resuelta.

3.2.4. Disponibilidad

Ya obtenidos los valores de MTBF y MTTR, además de las proyecciones una vez resueltas las fallas, podemos proceder a calcular la disponibilidad real del equipo, y luego comparar la proyección de disponibilidad para ver si es conveniente realizar las mejoras al plan de mantenimiento.

Tabla 3-10. Disponibilidad real del equipo

Disponibilidad	
MTBF	63
MTTR	9
Disponibilidad	0,875
D	88%

Fuente: creación propia

Tabla 3-11. Proyección de la disponibilidad

Proyección Disponibilidad	
MTBF	81
MTTR	9
Disponibilidad	0,9
D	90%

Fuente: Creación propia

Entonces podemos decir que, la disponibilidad del equipo se vería aumentada en un 2% porcentual, esto quiere decir que al hacer las mejoras el equipo producirá más, por consecuencia la empresa podrá aumentar sus ganancias en orden al porcentaje obtenido.

3.2.5. Costos asociados a la mantención.

Para finalizar el proyecto es necesario determinar los costos asociados a los trabajos de mantención. En esta área se evaluarán los costos de mano de obra, insumos y herramientas necesarias para la realización de las tareas de mantención.

3.2.5.1. Costos de mano de obra

Tabla 3-12. Costos de mano de obra

COSTOS MANO DE OBRA	\$	UF
Remuneración de técnico en mantenimiento industrial	\$ 800.000	27,886
Remuneración de Ingeniero mecánico (Supervisor)	\$ 1.500.000	52,287
Total horas al mes (horas)	200	
Valor hora de trabajo Técnico	\$ 4.000	0,139
Valor hora de trabajo ingeniero	\$ 7.500	0,261
Valor horas hombre total (HH)	\$ 11.500	0,401

Fuente: Creación propia. Sueldos en base a subsecretaría de educación superior. *UF 29 de abril 2020

3.2.5.2. Costos asociados a insumos y herramientas.

Como la empresa posee las herramientas especiales para realizar los trabajos en la bomba de alta presión Kamat, no se tomarán en cuenta para el cálculo de los costos totales. Además de los insumos que se compran de fábrica como las válvulas también estarán fuera de los cálculos.

Tabla 3-13. Costos asociados a insumos de sustitución de sellos.

SUSTITUCIÓN DE SELLOS				
Insumos y Herramientas	Cantidad	Precios	TOTAL	UF
Guantes	2	\$ 790	\$ 1.580	0,055
Overol	2	\$ 4.890	\$ 9.780	0,341
Lentes protección	2	\$ 2.015	\$ 4.030	0,140
Sello mecánico mono resorte	3	\$ 4.990	\$ 14.970	0,522
Huaipe mecánico	1	\$ 300	\$ 300	0,010
Sello Oring 22x2	3	\$ 1.100	\$ 3.300	0,115
Sello Oring 18x4	3	\$ 990	\$ 2.970	0,104
Sello Oring 16x2	3	\$ 890	\$ 2.670	0,093
Sello Oring 5x2	3	\$ 430	\$ 1.290	0,045
Empaquetadura válvula/émbolo	3	\$ 2.000	\$ 6.000	0,209
Sello de goma válvula	3	\$ 3.990	\$ 11.970	0,417
Disco de ruptura	3	\$ 7.890	\$ 23.670	0,825
Sello mecánico mono resorte	3	\$ 4.990	\$ 14.970	0,522
Lubricante Oring	3	\$ 1.540	\$ 4.620	0,161
Loctite	1	\$ 11.790	\$ 11.790	0,411
TOTAL	38	\$ 48.595	\$ 113.910	3,971

Fuente: Creación propia

Tabla 3-14. Costos asociados a insumos de sustitución de válvulas.

SUSTITUCIÓN DE VÁLVULAS				
Insumos y Herramientas	Cantidad	Precios	TOTAL	UF
Guantes	2	\$ 790	\$ 1.580	0,055
Overol	2	\$ 4.890	\$ 9.780	0,341
Lentes protección	2	\$ 2.015	\$ 4.030	0,140
Sello mecánico mono resorte	3	\$ 4.990	\$ 14.970	0,522
Solvente limpiador	1	\$ 3.850	\$ 3.850	0,134
Loctite	1	\$ 11.790	\$ 11.790	0,411
TOTAL	11	\$ 28.325	\$ 191.290	1,603

Fuente: Creación propia

3.2.5.3. Costos totales.

Determinando los costos de mantención totales se calculan mediante la suma de los costos de horas hombre más los insumos necesarios para la realización de estos. Cada trabajo se puede realizar en paralelo y tienen una duración de 1 hora aproximadamente por lo que serán necesarios 2 mecánicos para cada tarea de trabajo, más 1 supervisor por acción para revisar y validar la mantención.

Tabla 3-15. Costos totales Sustitución de Sellos

Costos totales Sustitución de Sellos				
Total horas de mantenimiento	Costos H/H (UF)		Insumos (UF)	Total (UF)
	Mecánico	Supervisor		
2	0,139	0,261	3,971	5,129

Fuente: Creación propia

Tabla 3-16. Costos totales de Sustitución de Válvulas.

Costos totales Sustitución de Válvulas				
Total horas de mantenimiento	Costos H/H (UF)		Insumos (UF)	Total (UF)
	Mecánico	Supervisor		
1,5	0,139	0,261	1,603	2,403

Fuente: Creación propia

3.2.5.4. Ingresos por arriendo del equipo

Tabla 3-17. Arriendo diario de equipo Kamat

Arriendo de equipo	UF
Arriendo diario	3,8
IVA	0,722
TOTAL	4,522

Fuente: Creación propia, arriendo de equipo Kamat

3.2.5.5. Ingresos de la empresa

Definiendo que los cambios de sellos se realizan cada 50 horas según la planificación del mantenimiento preventivo, podemos establecer que estos se realizan 1 vez cada semana. Por lo que cada 7 días de arriendo del equipo se debe incurrir en costos. Asumiendo que se arrendará el equipo por un mínimo de una semana antes de realizar los cambios de sellos, que son necesarias las mantenciones para su funcionamiento.

Tabla 3-18. Ingresos semanales totales de la empresa con las mejoras.

Ingresos de la empresa (Mejora)	
Ingreso semanal (UF)	31,654
Costos totales de mantenciones (UF)	-7,532
Total (UF)	24,122

Fuente: Creación propia, Ingresos semanales de la empresa.

Como se definió anteriormente, el equipo trabaja al mes un total de 2 semanas en total, con esta información se puede calcular los ingresos totales anuales de la empresa si aplica las mejoras al plan de mantenimiento.

Tabla 3-19 Ingresos totales anuales de la empresa con la mejora

Ingresos de la empresa anual (Mejora)	
Ganancia anual (UF)	653,64
Costos totales de mantenciones (UF)	-153,024
Total (UF)	500,616

Fuente: Creación propia.

En resumen, el equipo trabajando con las fallas que presenta hasta el día de hoy, tiene perdidas por mantenciones de emergencia y además por días en que no es arrendada, que afectan directamente a la empresa, generando pérdidas que pueden ser evitadas.

Tabla 3-20 Pérdidas anuales de la empresa sin mejoras

Perdidas por fallas anuales	
Cantidad de fallas (N°)	4
Ingreso diario (UF)	4,522
Mantenciones emergencia (UF)	7,532
Total perdida (UF)	48,216

Fuente: Creación propia.

Para finalizar con las mejoras integradas la empresa puede obtener un 9% más de ganancias, al eliminar los gastos por mantenciones correctivas asociadas al subsistema crítico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las acciones de limpieza en la industria son muy necesarias para poder mantener componentes que se ven expuestos a fluidos que pueden acortar la vida útil de los equipos, por lo que el correcto funcionamiento de las bombas de alta presión es imperante para llevar a cabo estas acciones.

Por esta razón los servicios que presta la empresa Nexxo a la industria son necesarias, además que el funcionamiento de sus equipos no puede presentar problemas, ya que su prestigio se vería afectado, y con esto puede verse superada por la competencia. En base a esta premisa es que la calidad de las mantenciones es necesaria para poder seguir satisfaciendo las necesidades del mercado.

Para realizar mejoras en las mantenciones del equipo Kamat, primero se debió realizar un catastro de las mantenciones históricas que tuvo el equipo y determinar en un rango de un año las que fueron producto de fallas que provocaron la detención del equipo, y con estas se realizó una matriz de cualitativa de criticidad, donde se determinó el subsistema crítico para abordar el equipo puntualizando en un punto de sus componentes, lo que permitió enfocar el trabajo en la bomba de alta presión.

Luego se realizó el análisis causa raíz de la falla para poder determinar cuáles eran las posibles causantes de las detenciones. Ayudados del método de Ishikawa se determinó que las formas de realizar las mantenciones no estaban siendo las más efectivas, por lo que se debió crear pautas de trabajo en las que se aseguran las correctas formas de trabajo.

Finalmente se pudo establecer que la empresa obtendrá un equipo más fiable, con mantenciones más eficaces, al aumentar su disponibilidad, por lo que también tendrá ganancias positivas al momento de realizar las mejoras. En tema de ingresos totales anuales, se pudo proyectar que la empresa aumentará las ganancias por el equipo al orden del 9%, esto debido a que las mantenciones correctivas causadas por la bomba de alta presión serían disminuidas al mínimo posible.

Así se obtiene un resultado positivo del proyecto, al lograr llegar a una propuesta de mejora al plan de mantenimiento ya existente, que sería posible ver por la disminución de las paradas por fallas sorpresivas, además de los beneficios monetarios que obtendría la empresa.

Las mejoras al plan de mantenimiento creadas en este proyecto ayudarán a ver mejoras en sus equipos y deja una base para ser implementada en otros equipos que no posean pautas de trabajo explícitas que aseguren los correctos trabajos de mantención, por lo que se recomienda implementar primero en los otros subsistemas del equipo en primera instancia, para tratar de eliminar por completo las paradas innecesarias del equipo. Luego ser utilizada en los demás equipos que posea la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Arata A, A., & Furlanetto, L. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. RIL Editores.
- Ishikawa K., (1989) Introducción al control de calidad.
- Catálogo Loctite, Empresas Henkel AG & CO.

ANEXOS

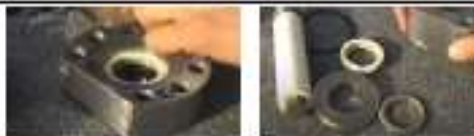
ANEXO 1: PAUTA DE TRABAJO SUSTITUCIÓN DE VÁLVULAS

		PAUTA DE TRABAJO				DEPARTAMENTO MANTENCIÓN Código: Fecha: 09-01-2020	
EQUIPO	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	MECANICOS(Nº)	1	TRABAJO	CAMBIO DE VÁLVULAS		
MARCA	KAMAT	TIEMPO	90 min	FECHA			
MODELO	K 40000	Nº INFORME	2	ENCARGADO			
INFORME DE ENTREGA							
INSUMOS		CHECK IN		HERRAMIENTAS		CHECK IN	
GUANTES	SI	NO		LLAVE ESPAÑOLA	SI	NO	
OVEROL	SI	NO		KIT EXTRACTOR DE VÁLVULAS	SI	NO	
LENTES PROTECCIÓN	SI	NO		KIT EXTRACTOR DE SELLOS MONORESORTE	SI	NO	
ZAPATOS SEGURIDAD	SI	NO		KIT INSTALACIÓN SELLOS	SI	NO	
SELLO MECÁNICO MONORESORTE	SI	NO					
SOLVENTE LIMPIADOR	SI	NO					
HUIPE MECÁNICO	SI	NO					
VALVULAS (6)	SI	NO					
PASO A PASO							
ACTIVIDAD				IMÁGENES			
Desde tablero eléctrico desenergizar equipo.							
Bloquear equipo con candados de seguridad							
Con llave de torque, extraer pernos de junta del cabezal con la bomba.							
Separar manualmente cabezal de la bomba				 			
OBSERVACIONES							

		PAUTA DE TRABAJO		DEPARTAMENTO MANTENCION	
				Código:	
				Fecha: 09-01-2020	
PASO A PASO					
ACTIVIDAD		IMÁGENES			
Utilizando un extractor de válvulas, retirar la válvula del cabezal.					
El extractor debe entrar en el orificio superior y hacerlo girar.					
luego extraer tirando de forma vertical hacia arriba.					
Con el extractor retirar sellos monoresorte alojados en el cabezal					
Insertar extractor de sellos, girar y tirar verticalmente hacia arriba.					
Utilizar llave española para tuerca del extractor de sellos monoresorte					
Limpiar nuevo sello monoresorte con solvente.					
Rociar la pieza con solvente directamente y limpiar restos con paño o hisopo.					
Instalar sello monoresorte con Kit de instalación de sellos.					
Encajar sello en cavidad y con Kit de instalación asegurar.					
Golpear montador con la maza para asegurar el sello.					
Instalar manualmente válvula en cavidad.					
Ejercer presión con ambas manos hasta que filtro quede en posición correcta					
Juntar cabezal con bomba nuevamente					
Colocar tornillos manualmente y luego ajustar con llave de torque					
Finalmente desbloquear equipo y energizar para probar					
que el equipo se encuentra operativo					
OBSERVACIONES					
EJECUTADO POR:					
Nombre:		Hora de inicio		ESTADO DEL EQUIPO	
Fecha:		Hora de término		OPERATIVO	SI NO
Firma:		Tiempo total			
REALIZADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Nombre:	Nelson Miranda / Paulo Diaz	Nombre:		Nombre:	
Fecha:	09-01-2020	Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	

ANEXO 2: PAUTA DE TRABAJO SUSTITUCIÓN DE SELLOS

		PAUTA DE TRABAJO			DEPARTAMENTO MANTENCIÓN		
					Código: Fecha: 09-01-2020		
EQUIPO	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	MECANICOS (N°)	1	TRABAJO	SUSTITUCIÓN DE SELLOS		
MARCA	KAMAT	TIEMPO	120 min	FECHA			
MODELO	K 40000	N° INFORME	1	ENCARGA			
INFORME DE ENTREGA							
INSUMOS		CHECK IN		HERRAMIENTAS		CHECK IN	
GUANTES		SI	NO	LLAVE ESPAÑOLA		SI	NO
OVEROL		SI	NO	LLAVE SACA SELLOS		SI	NO
LENTES PROTECCIÓN		SI	NO	LLAVE DE TORQUE		SI	NO
ZAPATOS SEGURIDAD		SI	NO				
SELLO ORING 22X2 (3)		SI	NO				
SELLO ORING 18X4 (3)		SI	NO				
SELLO ORING 16X2 (3)		SI	NO				
SELLO ORING 5X2 (3)		SI	NO				
EMPAQUETADURA VALVULA/EMBOLO (3)		SI	NO				
SELLO DE GOMA/VALVULA (3)		SI	NO				
DISCO DE RUPTURA (3)		SI	NO				
SELLO MECANICO MONORESORTE (3)		SI	NO				
LUBRICANTE ORING		SI	NO				
LOCTITE		SI	NO				
PASO A PASO							
ACTIVIDAD				IMÁGENES			
Desde el tablero eléctrico desenergizar por completo el equipo							
Bloquear equipo con candados de seguridad							
Con llave española aflojar tuerca prensaestopa para poder separar pistón del cilindro							
Manualmente separar pistón del cilindro y luego con llave de torque quitar pernos de émbolo							
OBSERVACIONES							

	PAUTA DE TRABAJO	DEPARTAMENTO
		MANTENCION
		Código:
		Fecha: 09-01-2020
PASO A PASO		
ACTIVIDAD	IMÁGENES	
Manualmente retirar émbolo con cilindro de cabezal de la bomba y separar cilindro del émbolo		
Manualmente quitar sellos, empaquetadura y disco de ruptura del émbolo		
Girar el émbolo hacia su cara posterior.		
Con llave extractora de sellos, quitar sellos Orings del interior del émbolo		
Manualmente colocar sellos Oring al interior del émbolo		
Sello Oring 18x4		
Sello Oring 16x2		
Girar el émbolo hacia cara frontal		
Manualmente instalar sello monoresorte en émbolo.		
Procurar encajar con ambas manos hasta el fondo del agujero		
Manualmente instalar sello de goma.		
Colocar con ambas manos, el sello debe quedar a raz de la superficie.		
Instalar disco de ruptura con ambas manos.		
Verificar que el disco quede bien puesto sin sobresalir en la superficie.		
Lubricar zona con lubricante de Oring		
Aplicar una gota y esparcir con las manos por la zona donde se colocarán los Oring restantes.		
Instalar manualmente Orings restantes en sus respectivas.		
Oring 22x2		
Oring 5x2		
OBSERVACIONES		

		PAUTA DE TRABAJO		DEPARTAMENTO MANTENCION	
				Código: Fecha: 09-01-2020	
PASO A PASO					
ACTIVIDAD		IMÁGENES			
Encajar cilindro en émbolo					
Colocar verticalmente, pasando émbolo hasta el final del cilindro, aplicando la fuerza necesaria si sobrecargar					
Colocar nuevamente el émbolo en el cabezal.					
El émbolo debe ser colocado con la fuerza prensaestopa visible para ser apretada posteriormente					
Colocar tornillos para unir émbolo al cabezal de la bomba.					
Ajustar con llave de torque					
En cada perno aplicar Loctite para prevenir fugas.					
Manualmente asentar cilindro con pistón.					
Ajustar manualmente fuerza prensaestopa					
Con llave española ajustar fuerza prensaestopa					
Ejercer fuerza necesaria para ajustar fuerza.					
No sobrecargar la fuerza con exceso de fuerza					
Finalmente desbloquear equipo y energizar para probar					
que el equipo se encuentra operativo					
OBSERVACIONES					
EJECUTADO POR:					
Nombre:		Hora de Inicio		ESTADO DEL EQUIPO	
Fecha:		Hora de término		OPERATIVO	SI NO
Firma		Tiempo total			
REALIZADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Nombre:	Nelson Miranda / Paulo Diaz	Nombre:		Nombre:	
Fecha:	09-01-2020	Fecha:		Fecha:	
Firma		Firma:		Firma:	