

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

PROPUESTA DE MEJORA A PLAN DE MANTENIMIENTO A SISTEMAS DE
BOMBAS DE ALTA PRESION EN EMPRESA NEXXO

Trabajo de Titulación para optar al título
de INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
CON LICENCIATURA

Alumno:

Luis Ignacio Fuentealba Cano.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Alejandro Elías Badilla Bello.

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo de título en primer lugar a la persona que me ha apoyado durante toda mi etapa universitaria y personal, quien se ha transformado en un pilar fundamental en mi vida, y me ha insistido en continuar cuando he querido bajar los brazos, ha sido mi pañuelo de lagrimas en los momentos de complejidad y adversidad, y sin duda ha estado en los momentos más difíciles que me ha tocado vivir y enfrentar, aun cuando me encuentro lejos en una faena y estoy solo contra el mundo, quien me refiero es a mi compañera de vida.

Sin ella no estaría donde me encuentro hoy en día, debo agradecerle ya que parte de la persona que soy es gracias a ella, a su amor y apoyo incondicional y siempre tener un tiempo para escucharme cuando más lo he necesitado.

Tambien debo agradecer la lealtad y amor de nuestros perros “Los Pingüis” como los llamamos, quienes se desvelaban pasando frio y hambre sentados y acurrucados en nuestras piernas en los momentos que teníamos que estudiar hasta altas horas de la noche y teniendo que dejarlos muchas veces de lado por llevar a cabo los objetivos planteados personalmente y asi poder entregarles un mejor pasar y vivir.

Agradecer a mi familia por sus palabras y apoyo incondicional por siempre estar preocupados en el avance que llevamos en la universidad y me animaban cuando necesitaba desestresarme por un momento y tenían que comprender cuando tenia que ausentarme a una junta familiar por estar estudiando, preparando alguna tarea o simplemente encontrarme en faena.

A mi profesor guía especialmente, por tenerme paciencia, entregarme su tiempo pese a encontrarse en vacaciones, entregarme tip y contarme su experiencia laboral en la celulosa, comprender y entender el mundo laboral que estoy involucrado ya que no es un trabajo muy conocido en el país y entiende lo riesgoso y demandante que puede llegar hacer esta labor.

Me faltan palabras para expresar lo vivido en esta larga y dura experiencia, no es fácil trabajar por faenas, estar lejos de la familia y de la gente que uno quiere, pero es necesario destacar a las personas mas significativas en este largo proceso ya que sin su labor, ayuda y aporte con cada grano de arena, nada de esto sería posible.

Estaré eternamente agradecido y es para Uds. este reconocimiento.

RESUMEN

KEYWORDS: AGUA ALTA PRESIÓN, BAP, FILTROS, ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

En el presente trabajo; “Propuesta de mejora a plan de mantenimiento a sistema de bombas de alta presión en empresa Nexxo”, se originó a partir de la necesidad de minimizar tiempo de espera debido a los repuestos de las bombas de agua, además de las ausencias en acciones de mantenimiento preventivo para las bombas de agua de alta presión.

Dicho trabajo se compone de tres capítulos, los cuales se presentarán según los objetivos planteados.

El capítulo uno se representan los antecedentes generales de Nexxo, además de la historia y ubicación, se presentan la función de los componentes del sistema de limpieza de agua alta presión. Por ultimo las delimitaciones del trabajo.

El capítulo dos consiste en la recopilación histórica de las fallas del sistema de limpieza para luego analizar a través de la metodología FMECA, identificar las fallas, modos de falla y el número de prioridad del riesgo logrando exhibir el equipo o elemento crítico.

El tercer capítulo se plantea la propuesta de plan de mantenimiento, indicado los tipos de mantención a utilizar a través de la aplicación de diagrama de decisión RCM. Posteriormente se realiza una comparación en los costos del actual mantenimiento correctivo versus el plan de mantenimiento preventivo.

En detalle el plan de mantenimiento para la zona norte del país propone realizar cambio de filtros primario y secundario cada 12 horas, a comparación para la zona centro/sur propone realizar este cambio cada 24 horas.

Finalmente, los resultados obtenidos; la empresa financiaba mantenimiento correctivo por cada falla de saturación de filtro alrededor de \$3.565.821 CLP. Sin embargo, en la mantención preventiva los costos asociados son \$27.081 CLP. Los cálculos fueron realizados en base a un cambio de filtro y a una mantención en una faena se propone realizar un cambio de filtro al iniciar cada turno, sin embargo, las faenas aproximadamente duran una semana en promedio o 5 días por lo que son 5 cambio de filtros y si no se realizan son 5 mantenciones correctivas. Ambos cálculos dan como diferencia \$17.693.700 CLP.

SIGLAS

FMECA	: Análisis modal de fallos y efectos.
CM	: Costo mantenimiento correctivo.
SAH	: Seguridad, ambiente e higiene.
CA	: Análisis de criticidad.
RBI	: Inspección basada en riesgo.
S.A	: Sociedad anónima.
B.A.P	: Bomba de alta presión.
\$: Pesos chilenos.

SIMBOLOGÍAS

HP	: Caballo de fuerza.
Psi	: Libras por pulgadas fuerzas.
kW	: Kilowatts.
l	:Litro
l/min	: Litros por minutos.
RPM	: Revoluciones por minutos.
S	: Segundos.
°C	: Grados celcius.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	2
RESUMEN	3
SIGLAS	4
SIMBOLOGÍAS	4
ÍNDICE	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	12
1. ANTECEDENTES GENERALES	13
1.1. NEXXO	13
1.1.1. Historia.....	13
1.1.2. Ubicación	14
1.1.3. Distribución de Nexxo	15
1.1.4. Alcance:.....	16
1.1.5. Localización:.....	17
1.2. INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS JETSTREAM:	19
1.2.1. Equipo bomba Jetstream:	19
1.2.2. Componentes del sistema de alta presión:	20
1.2.3. Funcionamiento del equipo:.....	21
1.3. INFORMACIÓN EQUIPO BOMBA KAMAT:.....	22
1.3.1. Descripción del equipo:.....	22
1.3.2. Funcionamiento del equipo:.....	22
1.3.3. Componentes del sistema de alta presión:	23
2. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS DE ALTA PRESIÓN:	23
3. Elementos del sistema de alta presión:	23
4. Elementos de protección personal:	29
5. Recopilación de historico de fallos:	31
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE HERRAMIENTA FMECA	35
2. IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS	36
2.1. Fmeca	36
2.1.1. Criterios:	36
2.1.2. Parámetros:	39
2.1.3. SIPOC:.....	42
2.2. Aplicación:	42
2.2.1. SIPOC bomba centrífuga:	43
2.2.2. SIPOC bomba a pistones:	43
2.2.3. FMECA bomba centrífuga:	43
2.2.4. FMECA bomba a pistones:.....	45
CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO	47

3. PLAN DE MANTENIMIENTO	48
3.1. TIPOS De mantenimientos.....	48
3.1.1. Mantenimiento correctivo:.....	48
3.1.2. Mantenimiento preventivo:.....	49
3.2. Elaboración plan de mantenimiento	49
3.3. Pautas de trabajo.....	49
3.4. Plan de mantenimiento operadores:.....	55
3.4.1. Plan de mantenimiento zona norte:.....	55
3.4.2. Plan de mantenimiento zona sur:	57
3.5. RCM:	57
3.5.1. Diagrama de decisión RCM;.....	57
3.5.2. Aplicación de diagrama RCM:	60
3.6. INSPECCIONES	61
3.6.1. Inspección diaria	61
3.6.2. Inspección por horas	61
3.7. PAUTAS DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN	62
3.7.1. Inspección nivel de aceite	62
3.7.2. Inspección apriete de tuercas:	64
3.7.3. Ajuste sistema de lubricación:	66
3.7.4. Inspección de válvulas:	69
3.7.5. Inspección disco de ruptura:	71
3.7.6. Inspección bomba alta presión:.....	73
3.5. Plan de mejora	74
3.6. Estandarización de procedimientos	76
3.7. Costos asociados:	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Imagen satelital de Nexxo.....	14
Figura 1-2: Distribución satelital de Nexxo.....	15
Figura 1-3: Distribución de localización de faenas.....	16
Figura 1-4: Mapa de aguas duras en Chile.....	18
Figura 1-5: Tabla de los modelos de bombas Jetstream.....	19
Figura 1-6: Sistema de limpieza alta presión, bomba Jetstream.....	21
Figura 1-7: Sistema de limpieza alta presión, bomba Kamat.....	22
Figura 1-8: Tobera Nexxo.....	23
Figura 1-9: Pistola de alta presión, Nexxo.....	24
Figura 1-10: Boquilla.....	24
Figura 1-11: Manguera de alta presión.....	25
Figura 1-12: Válvula de pie Nexxo.....	25
Figura 1-13: Auto box de Nexxo.....	26
Figura 1-14: Comando auto box de Nexxo.....	27
Figura 1-15: Backout o anti retroceso.....	27
Figura 1-16: Difusor de presiones, Nexxo.....	28
Figura 1-17: Camión de agua alta presión.....	28
Figura 1-18: Traje TST.....	29
Figura 1-19: Imagen, guantes Showa.....	29
Figura 1-20: Imagen, casco de seguridad.....	30
Figura 1-21: Imagen, zapatos de seguridad.....	31
Figura 1-22: Hoja 1, documento informe de inspección Nexxo.....	31
Figura 1-23: Hoja 7, documento informe de inspección Nexxo.....	32
Figura 1-24: Hoja 9, documento informe de inspección Nexxo.....	33
Figura 1-25. Gráfico de los elementos con más fallas.....	34
Figura 2-1: Tabla de parámetros severidad.....	39
Figura 2-2: Tabla de parámetros ocurrencia.....	40
Figura 2-3: Tabla de parámetros detección.....	41
Figura 2-4: Tabla de parámetros jerarquización del riesgo.....	41

Figura 2-5: SIPOC bomba centrífuga.....	43
Figura 2-6: SIPOC bomba a pistones.....	43
Figura 2-7: Tabla FMECA de bomba centrífuga.....	44
Figura 2-8: Tabla FMECA bomba a pistones.....	45
Figura 3-1: Información de inspección página 1	46
Figura 3-2: Informe de inspección pagina 2.....	51
Figura 3-3: Informe de inspección pagina 3.....	52
Figura 3-4: Informe de inspección pagina 4	53
Figura 3-5: Informe de inspección pagina 5.....	54
Figura 3-6: Pauta de mantenimiento, cambio de filtros.....	56
Figura 3-7: Diagrama de decisiones RCM. (Moubray J. , 1997).....	58
Figura 3-8: Proceso RCM.....	59
Figura 3-9: Diagrama RCM.....	60
Figura 3-10: Inspección y cambio nivel de aceite, pagina 1	62
Figura 3-11: Inspección y cambio nivel de aceite, página 2.....	63
Figura 3-12: Inspección apriete tuercas, página 1.....	64
Figura 3-13: Inspección apriete tuercas, página 2.....	65
Figura 3-14: Ajuste sistema de lubricación, página 1	66
Figura 3-15: Ajuste sistema de lubricación, página 2.....	66
Figura 3-16: Ajuste sistema de lubricación, página 3.....	68
Figura 3-17: Inspección de válvulas, página 1.....	69
Figura 3-18: Inspección de válvulas, página 2.....	70
Figura 3-19: Inspección disco de ruptura, pagina 1	71
Figura 3-20: Inspección disco de ruptura, pagina 2.....	72
Figura 3-21: Registro de inspección de bomba alta presión.....	73
Figura 3-22: Sensor de nivel de agua.....	75
Figura 3-23: Definiciones de responsabilidades.....	79
Figura 3-24: Partes del panel de control.....	84
Figura 3-25: Palanca de acoplamiento.....	85
Figura 3-26: Corta corriente.....	85

Figura 3-27: Filtros.....	86
Figura 3-28: Panel de control.....	87
Figura 3-29: Válvulas.....	88
Figura 3-30: Regulador neumático.....	88
Figura 3-31: Palanca del PTO.....	89
Figura 3-32: Regulador.....	89
Figura 3-33: Manómetro.....	90
Figura 3-34: Tabla de costo de mantenimiento correctivo.....	91
Figura 3-35: Tabla de costo de mantenimiento correctivo.....	92
Figura 3-36: Tabla de costo de mantenimiento correctivo.....	93

INTRODUCCIÓN

Nexxo compañía de servicios industriales enfocado en servicios de mantención industrial especializados, proporciona el servicio de limpieza con agua-jet trabajando con dos marcas de bombas de agua alta presión; Jetstream y Kamat, estos equipos cuentan con componentes mecánicos los cuales presentan fallas recurrentes, fallas que en la mayoría de los casos son costosos o la reparación de estos conllevan una larga espera por temas de repuestos.

Este sistema de limpieza industrial es proporcionado por una bomba alta presión la cual trabaja junto a sus respectivas mangueras, boquillas y accesorios seleccionados dependiendo del caso e industria, estos equipos cumplen un rol muy importante para la remoción de residuos y limpiezas de cañerías, razón por la cual es imprescindible crear un buen plan de mantenimiento para un mayor rendimiento y durabilidad.

Por estas causas es importante realizar mejoras no solo al equipo si no que al sistema de bombas en general, esta metodología se realiza mediante análisis de historiales de fallas, causas, manipulación del equipo, consecuencias y por consiguiente soluciones que disminuyan o mitiguen estas fallas. Se considera en la propuesta estudios técnicos y de costos tanto para la empresa como el beneficio monetario que generaría este proyecto.

A continuación, en los próximos capítulos se contextualiza el proceso y la empresa en la cual se ejecuta este análisis y plan de mantenimiento, junto a sus variables faenas y operaciones. Luego el análisis de falla y acciones a corregir, para finalizar esta propuesta es necesario considerar no solo el mantenimiento del equipo si no también correcciones para la manipulación por parte de los operadores, quienes cumplen un rol importante en el cumplimiento del plan de mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una propuesta de plan de mantenimiento al sistema de bombas de agua alta presión de la marca Jetstream y Kamat de la empresa Nexxo a través de herramientas del mantenimiento para aumentar la durabilidad de los componentes utilizados en el proceso de limpieza.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información técnica e histórica de falla de bombas Jestream y Kamat mediante investigación interna para definir el alcance del proyecto.
- Realizar FMECA y análisis causa raíz a través de la recopilación de información con la finalidad de definir los componentes para el plan de mantenimiento,
- Desarrollar la propuesta de mantenimiento con los anteriores antecedentes junto a un análisis, incluyendo costos, tiempo, ventajas y desventajas.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1.NEXXO

1.1.1. Historia

Nexxo S.A es fundada en el año 1980 por don Horts G. Jander Müller, un ingeniero civil industrial quien con su visión del futuro conformo una empresa de alta especialización e ingeniería aplicada para afrontar el crecimiento del país y las distintas áreas de la industrial.

La empresa está enfocada en 6 servicios industriales de alta especialización; Limpieza químicas y flushing, servicios industriales, obras y montaje, catalizadores y limpieza con agua alta presión. El último servicio es el marco en que se desarrolla esta investigación.

En el año 2013 se asocia con Echeverría Izquierdo una de las empresas de ingeniería y construcción más importante del país, con el fin de lograr lazos y estrategias en el proceso de la internacionalización de los países sudamericanos.

Actualmente la compañía se encuentra prestando servicios en industrias mineras, Oil y Gas, celulosa y papel, generación eléctrica, entre otras empresas de Chile, Argentina, Perú, Bolivia, Colombia y Brasil.

La misión es ser una empresa proveedora de servicios industriales innovadores, especializados y de alta tecnología, que se destaquen en el mercado nacional e internacional. La visión es consolidar liderazgo 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.

1.1.2. Ubicación

La empresa cuenta con una casa matriz ubicada en parque industrial Gulmue, lote 3A en la comuna de Concón, región de Valparaíso. Como se aprecia en la Figura 1-1.



Fuente: Google Maps

Figura 1-1: Imagen satelital de Nexxo

En un comienzo la empresa se ubicaba en el barrio industrial “El Salto” en la comuna de Viña del Mar, sin embargo, tras los años y el crecimiento de la compañía se trasladó a la localidad de Concón.

1.1.3. Distribución de Nexxo

En cuanto a la distribución se organiza como se muestra en la figura 1-2.



Fuente: Google Maps

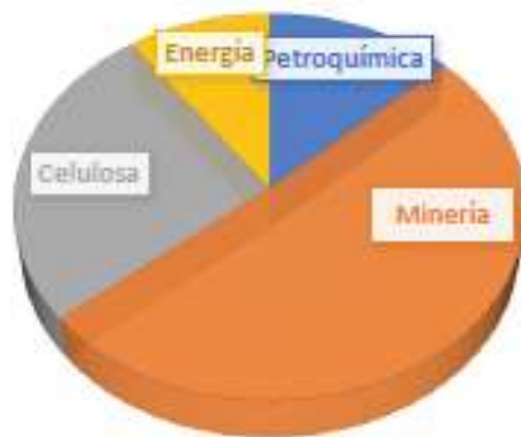
Figura 1-2: Distribución satelital de Nexxo.

1.1.4. Alcance:

En la actualidad Nexxo cuenta con múltiples contratos vigente a lo largo de todo el país, estos contratos son trabajados por las diferentes líneas de negocio. Sin embargo, como se mencionó anteriormente se estudia el departamento de limpieza con agua alta presión, por otro lado, este servicio mantiene contrato en diversas industrias.

Se realizó un plan de mantenimiento generalizado para los equipos de alta presión que se detallara en los siguientes capítulos, pero existen sugerencias según sea la industria o lugar de faena. Es por esto que a través de un conteo de faenas en cuanto a la localización se logró realizar el siguiente gráfico en la figura 1-3, el cual muestra las dos grandes industrias a las cuales presta servicio.

DISTRIBUCIÓN DE LOCALIZACIÓN DE FAENAS



Fuente: Reporte año 2020 Nexxo.

Figura 1-3: Distribución de localización de faenas.

En el anterior gráfico, se muestra que dos tipos de industrias lideran las faenas desarrolladas por la línea de limpieza alta presión, mineras con un 51% y celulosa con un 26%.

Para Nexxo solo existe una minera localizada al centro sur de Chile la cual pertenece a Codelco en su división “El Teniente de Rancagua”, por otro lado, las demás mineras están situadas al norte del país por lo que un mantenimiento personalizado sería totalmente diferente a las operaciones o mantenciones realizadas a un sistema de alta presión que este trabajando en industrias de celulosa. No solo cambia de localización, las temperaturas de trabajo son diferentes al igual que el suministro de agua con el que se trabaja, estas provocarían una serie de fallas diferentes.

Entonces, el alcance real de la investigación se centra en un plan de mantenimiento generalizado al momento de que los equipos lleguen a la planta central de Nexxo, sin embargo, en cuanto a la manipulación o mantención en la faena en si estas tendrán recomendaciones y un instructivo diferente.

1.1.5. Localización:

Este plan de mantenimiento hace la diferencia entre la zona norte y sur del país por el tipo de agua que se obtiene para el proceso de limpieza de alta presión.

El agua que se utiliza se obtiene desde la extracción de aguas subterráneas, aguas superficiales o cuencas hidrográficas del país, por lo que se denomina “aguas duras” y estas contienen un exceso de sales, iones de calcio y magnesio.

En Chile, desde Santiago hacia el norte del país el agua es más dura que de Santiago hacia el sur, porque la cantidad de sales y minerales disueltos en el agua es mayor. Ciudades como Copiapó, Calama, Arica e Iquique cuentan con aguas extremadamente duras.

En la siguiente figura 1-4 se refleja la situación de aguas duras en Chile.




Fuente: limpiafondos.cl

Figura 1-4: Mapa de aguas duras en Chile.

1.2.INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS JETSTREAM:

1.2.1. Equipo bomba Jetstream:

En la empresa actualmente hay 14 bombas Jetstream las cuales la componen los modelos; 4215 HF, 5015 Q, 4220 y 3015 (Q-100). A continuación, en la siguiente tabla 1-5, se describen sus características por modelo.

Modelo	4215HF	5015 Q	4220	3015 Q (Q-100)
Imagen				
Potencia máxima (hp)	210	215	185	100
Presión máxima (psi)	15000	15000	20000	12000
Flujo máximo (gpm)	21,7	21	14,3	12,4
Flujo mínimo (gpm)	6.2	6	4,2	-
Potencia máxima (kW)	157	150	138	75
Flujo máximo (l / min)	82	80	54	47
Flujo mínimo (l / min)	79	75	16	-
Tamaño del émbolo	# 10	# 10	#8	#9
Número de émbolos	3	3	3	3
Velocidad mínima (RPM)	150	150	150	-
Velocidad máxima (RPM)	514	514	514	500

Fuente: Información de waterblast.com

Figura 1-5: Tabla de los modelos de bombas Jetstream.

En la actualidad para los 4 modelos de bombas se realiza un mantenimiento generalizado y el 90% del mantenimiento es correctivo, por lo que el mantenimiento preventivo es casi nulo. Esta situación se debe a que las bombas no tienen una localización fija para operar y las condiciones de trabajo cambian por cada faena.

1.2.2. Componentes del sistema de alta presión:

PTO: Esta toma de fuerza permite acoplar al motor algún sistema en movimiento.

Tablero de control: Es un gabinete el cual es compuesto por dispositivos de conexión eléctrica y electrónica de control para que el operador pueda manipular la máquina.

B.A.P: Bomba alta presión, parte fundamental del sistema. Este componente el cual como se mencionó anteriormente Nexxo cuenta con 15 bombas las cuales son 2 tipos de modelos. Los parámetros más importantes que definen el funcionamiento de la bomba son:

- Presión de trabajo: Esta medida se obtiene mediante una bomba de pistones, el caudal producido por la bomba se hace pasar por una boquilla de la lanza la cual por la reducción del flujo de agua produce el incremento de presión hasta llegar a valores nominales. Esta presión se mide en psi. Al conocer el servicio que se presta se debe saber la presión mínima requerida para realizar el trabajo, por la consecuencia de tener una presión adecuada se consigue una cantidad menor de agua en menos tiempo.
- Filtros de agua: Es un tipo de contenedor el cual al pasar el agua por este elemento retiene los residuos contaminantes al sistema, este proceso proporciona una mayor vida útil de la bomba propiamente tal y sus componentes.
- Válvula reguladora: Es una válvula de control hidráulica que produce la incrementación de presión en la bomba, esta mantiene en constante funcionamiento al sistema sin ser afectado por el aumento o reducción del caudal.

Tanque de agua: Elemento que permite almacenar el agua de trabajo para el funcionamiento de todo el sistema.

1.2.3. Funcionamiento del equipo:

La bomba recibe la potencia necesaria para funcionar a través de un motor el cual este se acopla desde el PTO hacia la bomba de alta presión. Una vez accionada la bomba por el motor, el agua de proceso de la planta es ingresa al filtro primario, el cual permite entregar el agua limpia al tanque de agua, a su vez esta agua cae por efecto de gravedad a la bomba centrífuga.

Al recibir el agua a la bomba centrífuga impulsa el fluido a un filtro secundario con el fin de volver hacer un proceso de filtrado para la admisión en la bomba de pistones.

La bomba de pistones se conecta mediante mangueras y fittings a una pistola o válvula de pie, la cual tiene la función de retener o expulsar el fluido a trabajar, esta es regulable a través de una válvula compensadora.

En la siguiente figura 1-6 se muestra el circuito completo el cual funciona en una faena.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-6: Sistema de limpieza alta presión, bomba Jetstream.

1.3.INFORMACIÓN EQUIPO BOMBA KAMAT:

1.3.1. Descripción del equipo:

En la empresa existe solo una bomba Kamat la cual trabaja al igual que el modelo de bomba anterior con un motor diésel, pero en este circuito trabaja con un motor marca Volvo. Esta bomba trabaja con 3 pistones de 36 mm de diámetro. A comparación de la bomba anterior, es una bomba muy cotizada por su alta potencia y una presión máxima de 16.000 psi.

1.3.2. Funcionamiento del equipo:

En la siguiente figura 1-7, se muestra el circuito y sus componentes el cual trabaja la bomba y presta el servicio necesario al cliente la empresa.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-7: Sistema de limpieza alta presión, bomba Kamat

1.3.3 Componentes del sistema de alta presión:

Al igual que la bomba anterior, cuenta con los mismos elementos sin embargo se diferencia el motor y la bomba que se describió anteriormente. En el caso del motor es de marca Volvo con velocidad de giro de 1800 rpm, potencia de 662 Hp, este componente trabaja con un PTO de 3 discos. Junto con los mismos otros elementos que se mantienen.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS DE ALTA PRESIÓN:

La línea de servicio de limpieza con agua alta presión de Nexxo realiza múltiples servicios, sin embargo, para realizar una limpieza cuenta de dos formas más comunes, por un lado, está la forma manual en la cual un operador utiliza una pistola de alta presión o toberas. A su vez, existe un equipo llamado Auto box el cual sirve para la limpieza de los intercambiadores de calor de forma automatizada. En las siguientes secciones se definen este tipo de proceso y elementos a ocupar.

3. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN:

Tobera: Accesorio para limpiar interiores de cañerías y/o ductos, estas pueden ser fijas o rotatorias provoca una mayor remoción de impurezas y suciedad a través del ducto.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-8: Tobera Nexxo.

Pistola de agua alta presión: Es la encargada de aplicar el fluido de agua alta presión cuando se limpia de forma manual. El encargado de operar este accesorio del sistema es el operario el cual es capacitado en la casa matriz en cuanto a operación y seguridad.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-9: Pistola de alta presión, Nexxo.

Boquilla: Es utilizado en la punta de la pistola o en las toberas. Su punta se clasifica con 0° o más para dar dirección al chorro de aguas.



Fuente: www.waterblast.com

Figura 1-10: Boquilla

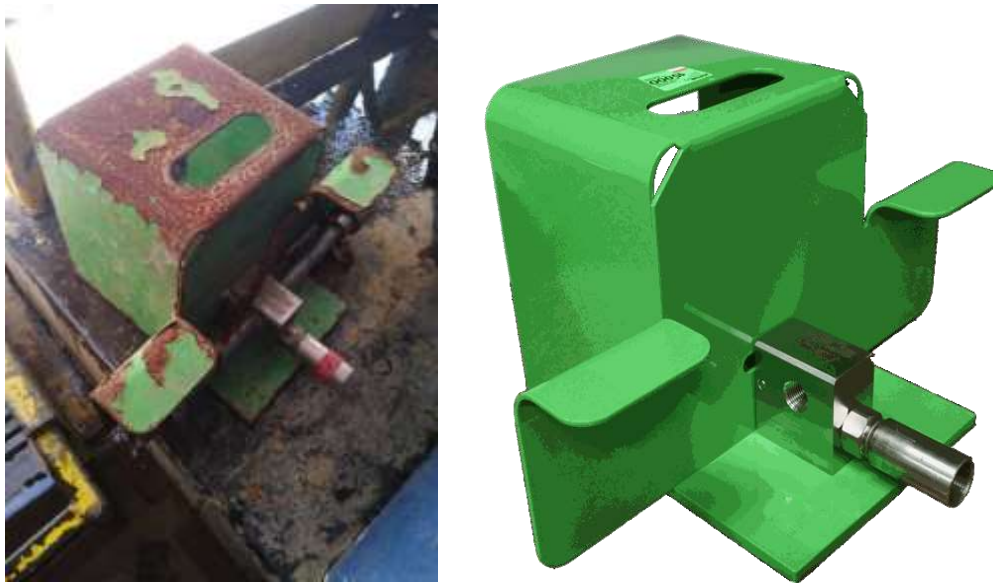
Manguera de alta presión: Accesorio para conducir el flujo de agua de alta presión desde la bomba hacia el punto de limpieza o aplicación.



Fuente: www.waterblast.com

Figura 1-11: Manguera de alta presión.

Válvula de pie: Accesorio que se utiliza para cortar o dar el flujo de agua entre la bomba y un accesorio, generalmente una tobera instalada con una lanza de alta presión en la punta de la manguera.



Fuente: www.waterblast.com

Figura 1-12: Válvula de pie Nexxo.

Auto box: Es un sistema automatizado de lanza doble para aplicaciones de limpieza de tubos de intercambiadores de calor con manos libres. Fue diseñado para controlar de manera confiable una o dos lanzas flexibles con énfasis en la portabilidad, la facilidad de configuración y la seguridad.



Fuente: Imagen propia.

Figura 1-13: Auto box de Nexxo.

Comando operación auto box: Accesorio que sirve para controlar el movimiento del auto box para la limpieza automatizado de intercambiadores. Al igual que los demás equipos el personal a cargo de este elemento es capacitado para el correcto funcionamiento y para cumplir estándares del cliente empresa.



Fuente: Imagen propia.

Figura 1-14: Comando auto box de Nexxo.

Backout o anti retroceso: Dispositivo instalado en la entrada de la cañería a limpiar (un flange o la boca de entrada de la cañería), para evitar que la tobera revierta su sentido de avance y se salga intempestivamente de su interior.



Fuente: Imagen propia.

Figura 1-15: Backout o anti retroceso

Difusor de flujo: Este elemento divide las presiones en dos zonas de trabajo diferente lo cual permite abarcar mayor área y minimizar los tiempos de limpieza.



Fuente: Imagen propia.

Figura 1-16: Difusor de presiones, Nexxo.

Camiones de alta presión: Estos camiones trasladan el equipo necesario para las faenas programadas.



Fuente: Imagen propia.

Figura 1-17: Camión de agua alta presión.

4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

Traje TST: Proporciona una protección integral elaborado de Kevlar, el cual incluye un pantalón y chaqueta con protección para las manos.



Fuente: www-waterblast.com

Figura 1-18: Traje TST

Guante Showa: Protección de manos con absorción de la sudoración y resistencia mecánica que resulta cómodo para su uso. Impermeabilidad para trabajos en entornos húmedos con garantía de un agarre óptimo de objetos.



Fuente: www-waterblast.com

Figura 1-19: Imagen, guantes Showa

Casco y bototos de seguridad: Como última medida de protección están considerado los cascos de seguridad los cuales tienen un color dependiendo de la función del trabajador y los zapatos de seguridad deben cumplir con especificaciones personalizadas según la empresa en la que se ejecute el trabajo.



Fuente: www.kupfer.cl

Figura 1-20: Imagen, casco de seguridad.



Fuente: www.kupfer.cl

Figura 1-21: Imagen, zapatos de seguridad.

5. RECOPIACIÓN DE HISTORICO DE FALLOS:

En la empresa al momento de la llegada del equipo de alta presión, es recibido por el área de renta de equipo el cual revisa el equipo detallando las mantenciones, fallas u observaciones en un informe de inspección que se detalla a continuación.

En la siguiente imagen 1-22 se muestra informe de inspección se protección adicional de motor.

INFORME DE INSPECCIÓN

1 de 15
Concón, 9 de Noviembre del 2020

Ficha Técnica			
Descripción:	Bomba de alta presión.	Deslg. Interna:	BAP_15
Marca:	Kamat	Modelo:	K40036_A_D
Presión:	15.000(PSI)	Caudal:	188(L/min)
Contiene:	Motor Diesel	Horas:	3397.2
Marca:	Volvo	Modelo:	Penta
Potencia:	662(HP)	Velocidad:	1800(RPM)

Faena Entrega	Andina.
CECO	1010061
Responsable Faena	Rildo Rojas.



1. Inspección y análisis de componentes.

El presente documento tiene como objetivo mostrar fallas encontradas según inspección realizada por mantención a bomba de alta presión modelo Kamat K40036_A_D, el cual se detalla a continuación:

Horómetro del equipo:
 Actual: :3397.2 hrs
 Última mantención: 3303 hrs
 Prox mantención: 3471 hrs

Personal asignado:
 Franco Carrera. Horas Utilizadas 4
 Ivan Volcke Hernández. Horas Utilizadas 4

Información técnica del equipo:
 Características Motor Diesel VOLVO PENTA 1642. RPM 1.800 496kw 662 hp
 Características Bomba Marca Kamat K40036_A_D Presión Max 15.000 psi Litros 188 P/M

Información técnica del equipo y sus especificaciones

Información de la faena

Personal a cargo de la inspección y datos del horómetro del equipo.

Fuente: Nexxo.

Figura 1-22: Hoja 1, documento informe de inspección Nexxo



Registro fotográfico de los detalles de fallas

Fuente: Nexxo.

Figura 1-23: Hoja 7, documento informe de inspección Nexxo.



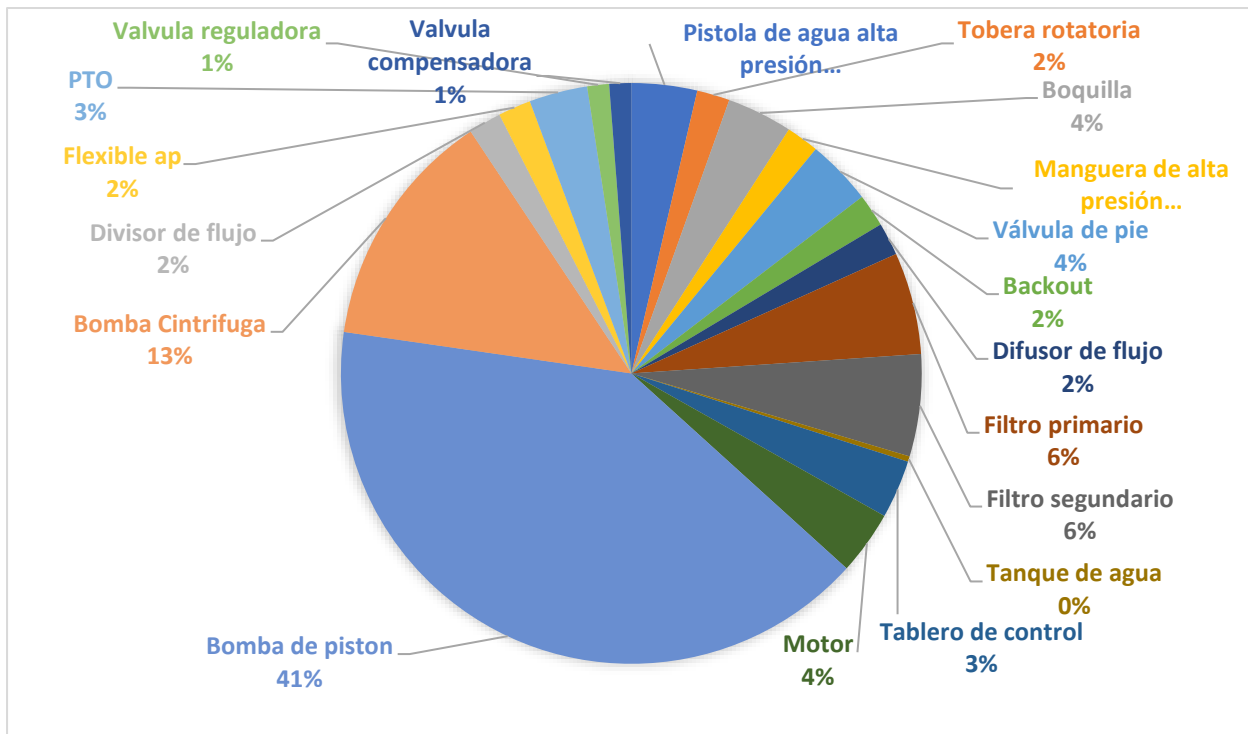
Conclusión, solución y mejoras generales para el área de mantención.

Fuente: Nexxo.

Figura 1-24: Hoja 9, documento informe de inspección Nexxo

A través del informe anterior se le entrega el equipo a mantención para que haga las mantenciones correctivas correspondiente, a su vez este tipo de fallas se transcriben a un Excel el cual agrupa las fallas por equipo obteniendo una base de dato el cual será analizada en el siguiente capítulo.

Según el reporte anual de Nexxo en el área de sistema de limpieza se obtiene el siguiente grafico en la figura 1-25, con el número de fallas más alto y relevante para el funcionamiento del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-25. Gráfico de los elementos con más fallas.

Nexxo se compone de varias líneas de negocios, una de ellas es la línea de mantención, la cual como dice su nombre se preocupa de hacerle mantenciones a los equipos de trabajo. Por lo tanto, cuando se programa una faena es la línea renta de equipo quien entre los equipos necesarios realiza un recurso de faena para el servicio. En la línea de mantenimiento y operación se aplicará el proyecto que se definirá en los siguientes capítulos.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE HERRAMIENTA FMECA

2. IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS

Mediante el desarrollo de FMECA se analiza dos partes importantes del proceso de limpieza, tal como muestra el gráfico anterior con los elementos con más fallas; bomba de pistón y bomba centrífuga.

2.1. FMECA

Análisis de modos y efectos de falla que incluye una evaluación de criticidad y análisis de causa raíz del modo de falla, esta técnica busca a través de una tarea para eliminar la causa de falla basado en la norma ISO 55000.

2.1.1. Criterios:

Para una correcta aplicación de la metodología del FMECA es necesario comprender los siguientes criterios.

Definición de la intención de diseño: Es la determinación de que es lo que los usuarios requieren que realice el activo físico, para delimitar la descripción de la función es necesario definir los parámetros requeridos los cuales se asocian a:

- Perfil del negocio.
- Ubicación geográfica, clima y ambiente laboral.
- Turnos y carga de trabajo.
- Proceso productivo o servicio y las metas de desempeño.
- Calidad de la materia prima, proceso y producto.
- Planes de mantenimiento actuales.
- Entre otros.

Análisis funcional: Identificación de funciones esperada por el activo.

Modo de Falla: Eventos que dan origen a una falla funcional de la máquina, en la redacción debe ser concisa y precisa, constituida por un sustantivo más el verbo. Algunos consejos para detectar los modos de falla:

- Identificar los fallos más probables que puedan ocasionar cada falla funcional.
- Se debe identificar la causa del modo de fallo con la finalidad de generar una estrategia de mantenimiento.
- Generar un listado de los modos de fallas históricos y/o los posibles modos de fallas probables a ocurrir.
- Incluir eventos que puedan ser causado por deterioro, diseño, errores de operación, errores de mantenimiento, proceso y contexto operacional

Los modos de falla se clasifican de la siguiente manera:

- Capacidad de funcionamiento por debajo de lo requerido por el usuario (deterioro, lubricación, suciedad, errores humanos).
- Funcionamiento por encima de la capacidad del activo (sobrecarga deliberada o no intencional y sobrecarga constante o repentina).

Efecto de falla: “Describen que pasa cuando ocurre un modo de falla” (Moubray, 2004). Responde a la pregunta ¿Qué ocurre cuando sucede una falla? Es una información vital para el desarrollo de la evaluación de la falla y describe lo que pasa o pasaría cuando el área de mantención no realiza las actividades de mantención, prevención o detección de una falla. Para determinar el efecto se puede apoyar contestando las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el síntoma del modo de la falla?
- ¿Cuál es la evidencia de la generación de la falla?
- ¿Cuáles son los daños físicos que ocasiona esta falla?
- ¿Genera una amenaza para la seguridad de los trabajadores?
- ¿Genera una amenaza para el medio ambiente?

Un aspecto importante para considerar es la falla oculta y esta es un modo de falla el cual no se tendrá evidencia de su síntoma para los trabajadores, por lo que los efectos de esta falla no constituyen un modo de falla anterior.

Acción para ejecutar: Son gestiones que previenen cada falla funcional, se crean las siguientes tareas.

- Tareas proactivas: incluye el reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componentes antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento. (Moubray, 2004). Debe incluir acciones o tareas de inspección con el fin de prevenir el modo de falla asociado a la edad del componente. En el caso que el reacondicionamiento de la maquina se debe analizar la situación en que si valdrá la pena realizarlo.
- Acciones a falta de: Consiste en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado (Moubray, 2004). Las finalidades de estas acciones se obtienen con la finalidad de determinar si un activo sigue cumpliendo su función principal. En el caso que las tareas de mantenimiento no de abasto es necesario considerar la opción del rediseño.

Severidad: Rango numérico que va desde el 1 al 10, califica la gravedad que tiene en el sistema.

2.1.2. Parámetros:

Severidad: Rango numérico que va desde el 1 al 10, califica la gravedad que tiene en el sistema.

Figura 2-1.

Efecto	Rango	Criterio
Ninguno	1	Sin efecto.
De muy meno importancia	2	Defecto menor, no imposibilita su función ni crea mayores dificultades al operador
De menor importancia	3	Defecto menor, no dificulta su funcionamiento, operador siente los síntomas
Muy bajo	4	Falla menor que no dificulta no significativamente su operación, pero es altamente susceptible por el operador
Bajo	5	Falla en la función del activo en la cual el operador percibe significativamente pero no imposibilita su operación.
Moderado	6	Falla altamente susceptible por el operador, puede causar graves, daños al activo.
Alto	7	Fallas de operación reduciendo considerablemente la vida útil del activo.
Muy alto	8	Falla total, grandes costos de reparación.
Peligroso con aviso	9	Ocurrencia con alarma, graves daños la operador o pérdida total del activo
Peligroso sin aviso	10	Ocurrencia sin alarma, puede causar graves daños al operador o pérdida total activo

Fuente: (Arata), Libro Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.

Figura 2-1: Tabla de parámetros severidad.

Ocurrencia: Probabilidad en que una falla ocurra y resulte en un modo de falla durante la vida útil del activo. Figura 2-2.

Probabilidad	Frecuencia	Rango
Casi inevitable	90 - 100	10
	80 - 100	9
Fallas frecuentes	60 - 70	8
	50 - 60	7
Fallas ocasionales	40 - 50	6
	30 - 40	5
Incidentes aislados	30 - 20	4
	15 - 20	3
Fallos relativamente pocas	5 - 15	2
Incidentes improbables de ocurrir	0 - 5	1

Fuente: (Arata), Libro Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.

Figura 2-2: Tabla de parámetros ocurrencia

Detección: Indica el grado de eficacia de los controles en el sistema productivo basado en la inspección visual o medición automatizada. Figura 2-3.

Rango	Criterio
1	Controles seguros para detectar la falla
2 a 3	Controles casi seguros para detectar fallas
4	Controles con buena oportunidad de detecta
5 a 6	Controles con poca dificultad para detectar
7 a 8	Controles con poca oportunidad de detectar
9	Controles que probablemente no logra detectar
10	No detección

Fuente: (Arata), Libro Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.

Figura 2-3: Tabla de parámetros detección.

Jerarquización del riesgo: Producto de la obtención de multiplicar la severidad, ocurrencia y la capacidad de detección que los efectos de una falla emiten. Figura 2-4.

RPN		Color
500 - 1000	Alto riesgo	Rojo
125 - 499	Riesgo de fallo medio	Amarillo
1 - 124	Resgo de fallo bajo	Verde
0	No existe riesgo de falla	Verde

Fuente: (Arata), Libro Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento.

Figura 2-4: Tabla de parámetros jerarquización del riesgo.

2.1.3. SIPOC:

Antes de realizar y aplicar el FMECA se debe definir el contexto operacional y propósito del equipo mediante la herramienta SIPOC. Esta herramienta logra de manera más exacta definir las funciones del equipo bajo 5 parámetros:

- Proveedor: El que proporciona las entradas al proceso, puede ser una persona u otro proceso.
- Entrada: Material, información, datos, documentación, servicio que se necesita para realizar las actividades del proceso.
- Proceso: Una secuencia de actividades que añaden valor a las entradas para producir las salidas
- Salida: Producto, servicio, información, documentación que es importante para el cliente.
- Cliente: El usuario de la salida del proceso.

2.2. APLICACIÓN:

En las figuras 2-5 y 2-6 se desarrollan los SIPOC correspondiente a las bombas críticas del sistema de limpieza.

En las siguientes figuras 2-7 y 2-8 se realiza los respectivos FMECA tanto de la bomba centrífuga como la bomba a pistón.

2.2.1. SIPOC bomba centrífuga:

<u>PROVEEDOR</u>	<u>ENTRADA</u>	<u>PROCESO</u>	<u>SALIDA</u>	<u>CLIENTE</u>
Sistema de alimentación de agua	Tanque de almacenamiento de agua de 200 litros	Impulsar agua con caudal con un rango de 180 a 200 lts/min con una presión de 55 a 58 psi a la bomba de pistones	A la bomba de pistón	Manguera de la pistola de alta presión

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-5: SIPOC bomba centrífuga.

2.2.2. SIPOC bomba a pistones:

<u>PROVEEDOR</u>	<u>ENTRADA</u>	<u>PROCESO</u>	<u>SALIDA</u>	<u>CLIENTE</u>
Sistema de alimentación de agua	Bomba centrífuga que entrega un caudal de 180 a 200 lts/min con una presión de 55 a 58 psi	Impulsar agua con caudal con un rango de 118 lts/min y una presión de 15.000 psi	Manguera de la pistola de alta presión	Superficies para la limpieza con agua alta presión

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6: SIPOC bomba a pistones.

2.2.3. FMECA bomba centrífuga:

En el análisis de la siguiente tabla 2-5, se desarrollan en tres clasificaciones, la primera es la que menos impacta en cuanto a la operación o costo el mantenimiento ya que son elementos que son fáciles de cambiar o mantener. Por otro lado, la frecuencia con la que ocurren es menor a comparación de otras fallas.

En la segunda clasificación están las fallas identificadas por el color amarillo, en las cuales estos eventos son más frecuentes e impactan en un alto grado el funcionamiento de la bomba, pero los cambios de estos elementos tienen un menor tiempo.

La última categoría se diferencia por su color rojo, caracterizada por la gran frecuencia de ocurrencia.

Sistema	Función	Falla potencial	Efecto potencial de Falla	Severidad	Causa potencial de la falla	Ocurrencia	Control	Detección	RPN
Limpieza para desinfección aguas alta	Bomba centrífuga entrega presión de 58 psi con un caudal de 200 lts	Falla funcional. No se transmite la potencia	Vibración y ruido	4	Desalineación de la bomba y motor	4	Inspección para la correcta alineación.	2	32
			Vibración y ruido menor	5	Acople omega defectuoso	4	Cambio de acople.	5	100
			Vibración excesiva y ruido extremo	3	Tornillos suelto en fijación de la bomba	6	Calcular y aplicar el torque necesario o cambio de tornillos estan cortados.	3	54
			Baja de caudal Acción	5	Impulsor Roto	5	Cambio del impulsor.	7	175
			Baja de caudal Acción.	3	Sello mecánico defectuoso	10	Cambio de sello.	5	150
			Baja de caudal, ruidos al interior de la bomba.	10	Bomba obstruida por objetos ajenos al agua	10	Desmontar la bomba para revisar posible objeto atascado ademas cambiar filtros.	7	700

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-7: Tabla FMECA de bomba centrífuga.

2.2.4. FMECA bomba a pistones:

En la siguiente figura 2-6 se clasifica en tres grupos, el primero se identifica con el color verde y son las fallas las cuales tienen una baja severidad y frecuencia, por lo que se consideran fallas ocasionales o poco frecuente. Como consecuencia del efecto anterior no se consideran en el plan de mantenimiento.

Sistema	Función	Falla potencial	Efecto potencial de Falla	Severidad	Causa potencial de la falla	Ocurrencia	Control	Detección	RPN
L i m p i e z a d e a g u a a l t a p r e s i ó n	Producir presiones de 15.000 psi para poder alimentar los circuitos de agua alta presión entregando 115 a 200 lts de caudal	Entrega Presión bajo a 15.000 psi	Vibración y baja presión	10	Pistones dañados	3	Cambiar pistones	10	300
			Vibración excesiva y funcionamiento defectuoso	10	Suministro de agua insuficiente	10	Asegurar que la planta este entregando un optimo caudal, revisar los filtros y si estan saturados cambiarlos.	9	900
			Vibración excesiva y detención Acción	9	Rotura de eje	1	Reemplazar eje o cambio de bomba	9	81
			Vibración y funcionamiento defectuoso	10	La bomba no está cebada y está funcionando en seco.	8	Realizar procedimiento para cebar la bomba	6	480
		Entrega bajo rango caudal	Baja de caudal Acción	8	Cuerpo extraño en la bomba	10	Desarme cabezal de la bomba y sacar objetos extraños.	10	800
			Baja de caudal Acción.	6	Filtración de fluidos en acusete de cabezal de la bomba	5	Reemplazar orrines de alta y de baja de la univalvula	3	90
			Baja de caudal, ruidos al interior de la bomba.	5	Disco de ruptura dañado	3	Cambiar disco de ruptura	4	60
			Baja de caudal	5	Desalineacion de poleas	4	Alineación de poleas	8	160
			Baja de caudal, ruidos al interior de la bomba	5	Pernos de fijación de la bomba sueltos	4	Inspección de pernos, realizar el torque necesario	6	120
			Baja de caudal, ruidos al interior de la bomba	6	Rodamientos desgastados	3	Cambiar rodamientos	4	72
			Baja de caudal, ruidos al interior de la bomba	6	Problemas de acoplamiento bomba-motor.	3	Desconectar la bomba, inspeccionar y volver acoplar	5	90
			Baja de caudal, ruidos al interior de la bomba	3	Retenes de aceites defectuosos	4	Reemplaar los retenes	4	48

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8: Tabla FMECA bomba a pistones.

En la segunda categoría se diferencia con el color amarillo, a pesar de que son fallas que ocurren con una baja ocurrencia la severidad y ocurrencia es más elevada, en esta clasificación se encuentran los pernos de fijación, desalineación de poleas y rotura de pistones. Elementos que con un procedimiento adecuado se puede evitar que los pernos de fijación queden con un torque inadecuado y que las poleas se mantengan alineadas, además, la rotura de pistones es una falla la cual no se realizan mantenciones si no que se cambia el componente por uno nuevo.

Por último, con color rojo se encuentra la categoría más crítica y se identifica por la cantidad de ocurrencia que representa, por ejemplo, cuerpos extraños, bombas no cebadas y suministro de agua deficiente por parte del cliente. En cuanto a las causas de fallas se desarrollan a continuación en un RCM para posterior realizar el plan de mantenimiento.

CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO

3. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para realizar un correcto plan de mantenimiento para los equipos de alta presión y mitigar las fallas más recurrentes que fueron descritas en los FMECA'S correspondientes, es necesario realizar un plan de mantenimiento personalizados según la faena en que se encuentre los equipos para el trabajo a realizar.

En el plan de mantenimiento se pondrá énfasis en aumentar la disponibilidad y minimizar los tiempos de espera causada por mantenimiento correctivo. En cuanto al plan de mantenimiento preventivo que posee y rige en Nexxo es el que viene entregado de fábrica, sin embargo, este plan es dado en condiciones ideales, con una carga de trabajo constante y un ambiente normal.

El plan antes mencionado en resumen consta de lubricación, cambio de válvulas y sellos que se deben realizar cada 60 horas de trabajo sin embargo en ocasiones por fallas de otros elementos (filtros), se realiza antes la mantención o simplemente se realiza hasta que falle algún componente, no tomando en cuenta en varias ocasiones el plan de mantenimiento preventivo.

3.1. TIPOS DE MANTENIMIENTOS

El mantenimiento industrial se puede definir como la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluyendo acciones de supervisión, enfocadas a conservar algún elemento, o bien restaurarlo a un estado en el cual él pueda realizar una función solicitada.

Existen diversos tipos de mantenimiento los cuales se aplican en diferentes etapas de la vida útil de un activo. El tipo de mantenimiento que más se utilizaran en este trabajo son los siguientes:

3.1.1. Mantenimiento correctivo:

Este mantenimiento se realiza una vez ocurrida la falla, por lo que presenta la ventaja de que el componente se aprovecha al máximo de su vida útil. Por lo tanto, la frecuencia de este mantenimiento es variable y en algunos casos mínimo, puesto que no todos los mecanismos fallaran en el mismo periodo, debido a distintos factores, como lo pueden ser; el ambiente de trabajo, la carga de trabajo, etc.

En algunos casos puede resultar ser un mantenimiento de alto costo, un ejemplo de ello es cuando ocurre en equipos críticos en los cuales una parada inesperada produce altos costos.

En el caso de Nexxo, el mantenimiento se basa en el correctivo, ya que para el área en que se centra el trabajo las mantenciones son basadas en el manual de fabricante.

3.1.2. Mantenimiento preventivo:

Por el contrario, al mantenimiento preventivo es planificado y programado, es decir reemplazar los componentes que a través de un estudio y estadística se deben cambiar antes que fallen, pero aprovechando su vida útil en un porcentaje máximo.

El objetivo es mantener el equipo en óptimas condiciones de operación, normalmente se ejecuta bajo las recomendaciones y manuales del fabricante. Sin embargo, hay condiciones diferente a los que el fabricante supone.

3.2. ELABORACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO

Para elaborar un plan de mantenimiento se puede centrar en tres etapas:

- Recopilación de información actual que se aplica en la empresa.
- Realizar un plan de mantenimiento mediante análisis previos basados en elementos críticos del proceso de producción, independiente de las tareas del fabricante a carga y ambiente de trabajo que se exponga.
- Realizar un plan de mantenimiento enfocado a las fallas que con más ocurrencia que afectan a la producción.

3.3. PAUTAS DE TRABAJO

Como se mencionó anteriormente, en Nexxo cuando surge un trabajo fuera de la zona se realiza un recurso de faena el cual constituye en el equipamiento de un camión especializado para la faena a fin.

En este recurso consta de las bombas a utilizar, repuestos de filtros, sellos, lubricante y accesorios del sistema de alta presión.

Una vez que la faena llega a su fin el personal a cargo realiza un informe de inspección del equipo que pudo haber fallado, para entregárselo al departamento de mantenimiento y así puedan realizar las mantenciones correctivas correspondientes. A continuación, se registra un informe de inspección de la bomba Kamat.

En la figura 3-1 se describen los datos de la bomba de alta presión (marca, modelo, potencia, caudal, horas de trabajo, entre otros), además un registro de horómetro de su última mantención y de la próxima.

INFORME DE INSPECCIÓN

Concón, 9 de Noviembre del 2021

Ficha Técnica			
Descripción:	Bomba de alta presión.	Desig. interna:	BAP_15
Marca:	Kamat	Modelo:	K40036_A_D
Presión:	15.000(Psi)	Caudal:	188(L/min)
Contiene:	Motor Diesel	Horas:	3397.2
Marca:	Volvo	Modelo:	Penta
Potencia:	662(HP)	Velocidad:	1800(RPM)

Faena Entrega	Andina.
CECO	1010061
Responsable Faena	-

1. Inspección y análisis de componentes.

El presente documento tiene como objetivo mostrar fallas encontradas según inspección realizada por mantención a bomba de alta presión modelo Kamat K40036_A_D, el cual se detalla a continuación:

Horómetro del equipo:

Actual: 3397.2 hrs

Última mantención: 3303 hrs

Prox mantención: 3471 hrs

Información técnica del equipo:

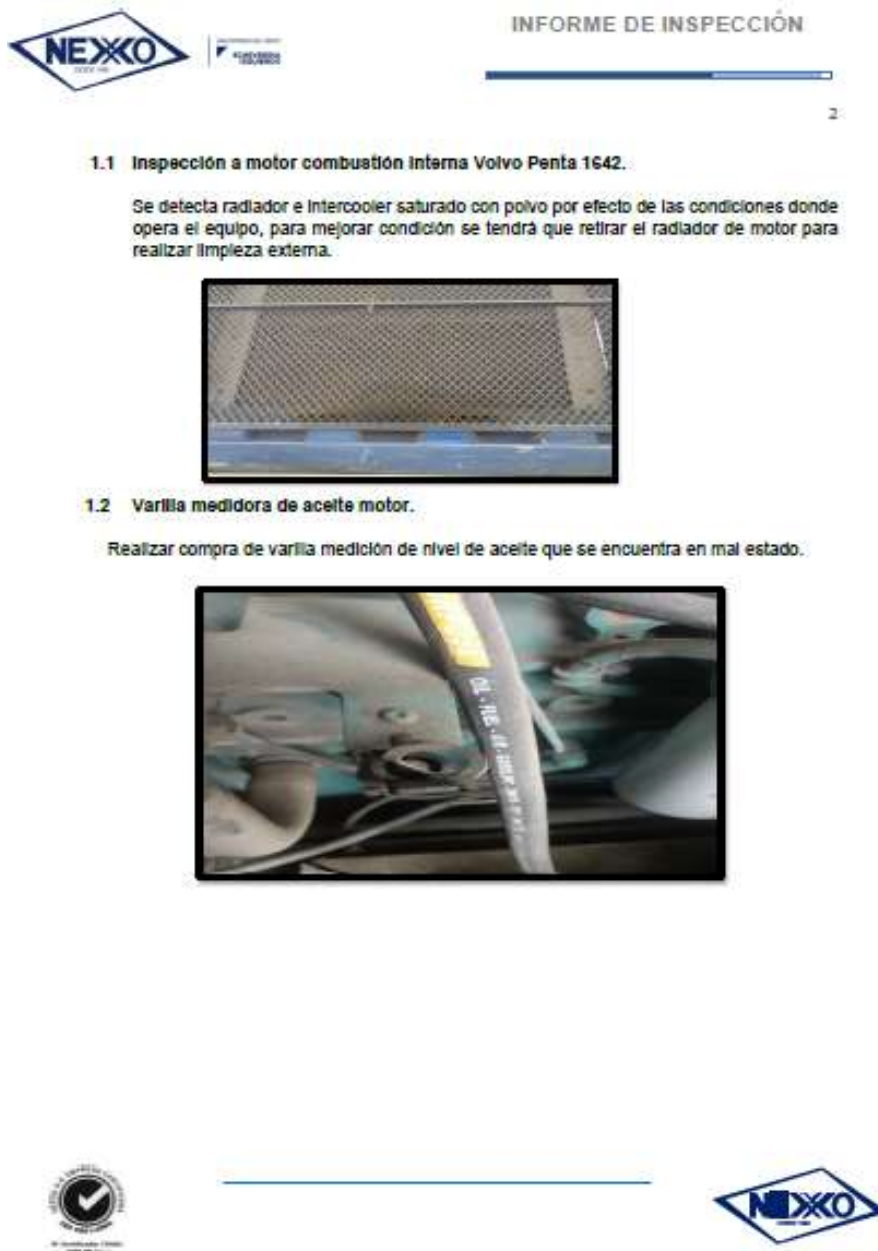
Características Motor Diesel VOLVO PENTA 1642. RPM 1.800 496kw 662 hp

Características Bomba Marca Kamat K40036_A_D Presión Max 15.000 psi Litros 188 P/M

Fuente: Departamento de mantenimiento de Nexxo.

Figura 3-1: Información de inspección página 1.

Desde la segunda página que se adjunta en la figura 3-2, se insertan las imágenes con la descripción del problema e inspección.



Fuente: Departamento de mantenimiento de Nexxo.

Figura 3-2: Informe de inspección pagina 2.



1.3 Protección correas motor.

Se detecta protección quebrada en punto de fijación, realizar trabajo de soldadura.



1.4 Manguera alimentación bomba de alta presión.

Reemplazar manguera de 2" que alimenta a bomba alta presión que se encuentra en mal estado.



Fuente: Departamento de mantenimiento de Nexxo.

Figura 3-3: Informe de inspección pagina 3.



1.5 Canastillo filtro secundario.

Saturación de elemento filtrante, genera rotura de canastillo.



1.6 Sección hidráulica bomba.

Daño severo en conjunto cabezal bomba de alta presión. Se detecta embolo número tres sin parte cerámica embolo dos, con fisura.



1.7 Embolo número dos.



Fuente: Departamento de mantenimiento de Nexxo.

Figura 3-4: Informe de inspección pagina 4.



INFORME DE INSPECCIÓN

5

Según Inspección realizada a equipo BAP 15 (Kamat) se concluye:

Agua con exceso de particulado y poca frecuencia en el cambio de filtros, genera saturación de elemento filtrante, lo que no permite libre circulación de agua. Esta condición genera rotura de émbolos cerámicos por deficiente lubricación y enfriamiento.

- Bomba Kamat queda fuera de servicio.
- Duración de émbolos según último registro de cambio 273 hrs.

1.8 Solución.

- Se debe realizar cambio de componentes dañados a bomba de alta presión que aparecen en imágenes y repuestos internos de bomba que serán indicados en listado de repuestos.
- Tiempo de reparación queda sujeto a la compra y llegada de repuesto. No se cuenta con stock de repuesto.

Henry Edwards Meza Espinoza
Planificador de mantención
Tel +56 9 38654857

Andres Patricio Vega Toro
Jefe de mantención
Tel +56 9 6688 5691



Fuente: Departamento de mantenimiento de Nexxo.

Figura 3-5: Informe de inspección pagina 5.

Finalmente se concluye al estado final de la bomba, en este caso por todas las fallas que se detectaron queda el equipo fuera de servicio.

Al finalizar la mantención correctiva se encuentra operativa la bomba para poder realizar los servicios de limpieza, en ese instante el departamento de operaciones es notificado para las futuras coordinaciones con el cliente.

El siguiente proceso de que un equipo quede disponible es como se mencionó anteriormente el recurso de faena ante el inicio de un nuevo trabajo. Es en este proceso el cual el plan de mantenimiento se desarrolla según la faena acordada, pues si la faena queda localizada en el norte tendrá un plan de mantenimiento diferente.

3.4. PLAN DE MANTENIMIENTO OPERADORES:


En faena se puede realizar mantenimiento preventivo, enfocado a la realización de un operador. Este plan de mantenimiento se divide por zonas geográficas.

3.4.1. Plan de mantenimiento zona norte:

En base al mapa del tipo de agua según las zonas geográficas del país, el plan de mantenimiento para la zona sur al igual que el plan de mantenimiento zona norte se centra en la frecuencia del cambio de filtros para esta zona y en consecuencia de la presencia de aguas blandas el cambio de filtro será cada 1 turnos (12 horas cada uno).

La siguiente pauta se creó en base a experiencia propia y del personal de Nexxo, es necesario que trabajadores nuevos puedan realizar mantenciones en base al conocimiento y tengan las indicaciones en cada faena.

En faenas anteriores el stock de repuestos es insuficientes y se debe recurrir a la movilización de stock desde casa matriz a la faena mediante transporte rápido, aumentando los costos de reparación.

		PAUTA DE MANTENIMIENTO			Codigo: Fecha:																																					
EQUIPO	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	CONTRATO	SERVICIO CODELCO	FECHA																																						
MODELO		LUGAR	DIVISIÓN SALVADOR	ENCARGADO																																						
MARCA		DIAS DE TRABAJO		MECANICO																																						
INSUMOS																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRODUCTO</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>EPPS</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>FILTROS</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>SET DE LLAVES</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PUNTA CORONA</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> </tbody> </table>			PRODUCTO	CHECK IN		GUANTES	SI	NO	OVEROL	SI	NO	LENTES PROTECCIÓN	SI	NO	EPPS	SI	NO	FILTROS	SI	NO	SET DE LLAVES			PUNTA CORONA	SI	NO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRODUCT</th> <th colspan="2">CHECK IN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EPPS</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>FILTROS</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>SET DE LLAVES</td> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> </tbody> </table>				PRODUCT	CHECK IN		EPPS	SI	NO	FILTROS	SI	NO	SET DE LLAVES	SI	NO
PRODUCTO	CHECK IN																																									
GUANTES	SI	NO																																								
OVEROL	SI	NO																																								
LENTES PROTECCIÓN	SI	NO																																								
EPPS	SI	NO																																								
FILTROS	SI	NO																																								
SET DE LLAVES																																										
PUNTA CORONA	SI	NO																																								
PRODUCT	CHECK IN																																									
EPPS	SI	NO																																								
FILTROS	SI	NO																																								
SET DE LLAVES	SI	NO																																								
PROCEDIMIENTO																																										
PASO A PASO			OBSERVACIONES																																							
Detención del equipo de alta presión por completo																																										
Cortar el suministro de agua																																										
Escoger la llave punta corona adecuada a la tuerca																																										
Soltar los pernos de sujeción de la tapa del porta filtros																																										
Extraer la tapa y el filtro																																										
Remplazar el filtro antiguo por uno totalmente nuevo																																										
Volver a instalar la tapa del porta filtros																																										

Fuente: Creación propia.

Figura 3-6: Pauta de mantenimiento, cambio de filtros.

3.4.2. Plan de mantenimiento zona sur:

En base al mapa del tipo de agua según las zonas geográficas del país, el plan de mantenimiento para la zona sur al igual que el plan de mantenimiento zona norte se centra en la frecuencia del cambio de filtros para esta zona y en consecuencia de la presencia de aguas blandas el cambio de filtro será cada 2 turnos (12 horas cada uno).

3.5. RCM:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es el proceso que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento para cualquier activo. La implementación del RCM se implementa para poder realizar un plan de mantenimiento preventivo para la bomba centrífuga y de pistones.

Para desarrollar la herramienta RCM es necesario aplicar mediante un diagrama de decisión a los dos tipos de bombas.

3.5.1. Diagrama de decisión RCM:

Para llevar a cabo un RCM es necesario anteriormente designar los recursos de mantenimiento al activo determinado. En los capítulos anteriores se jerarquizó a través de un FMECA los elementos de mayor prioridad en cuanto a su criticidad específica.

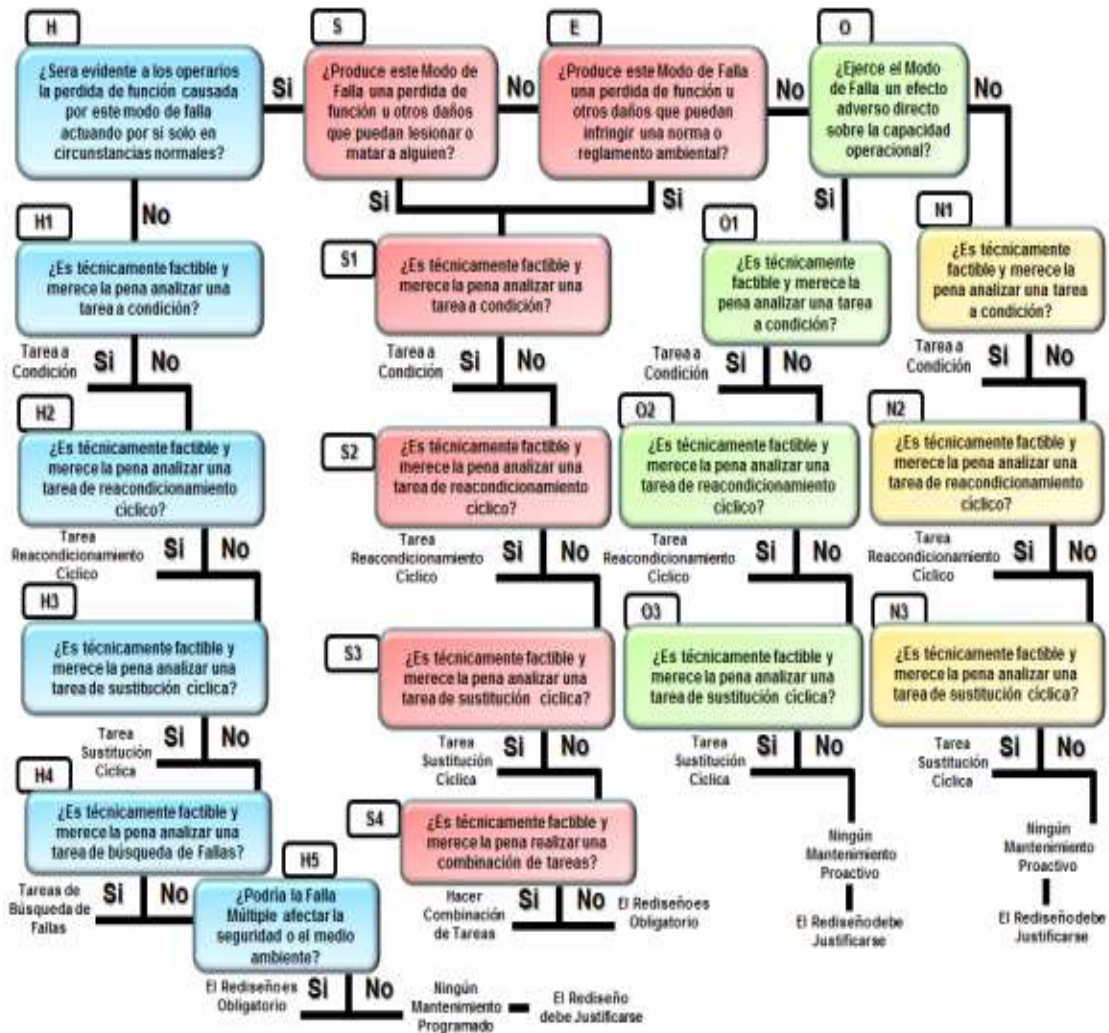
A continuación, en la figura 3-7, se presenta el árbol lógico de decisión para las tareas estratégicas de mantenimiento del RCM, el cual presenta la gama de alternativas que se pueden tomar al aplicar la metodología.

La herramienta RCM considera tres tareas de mantenimiento preventivo, estas son:

Tarea A, que busca encontrar advertencias que una falla este por ocurrir identificándola en una falla funcional, permitiendo una intervención programada antes de que ocurra una falla funcional.

La tarea B se centra en el reacondicionamiento y sustitución cíclico, se refiere a tareas hechas a intervalos fijos independiente del estado de falla de un componente.

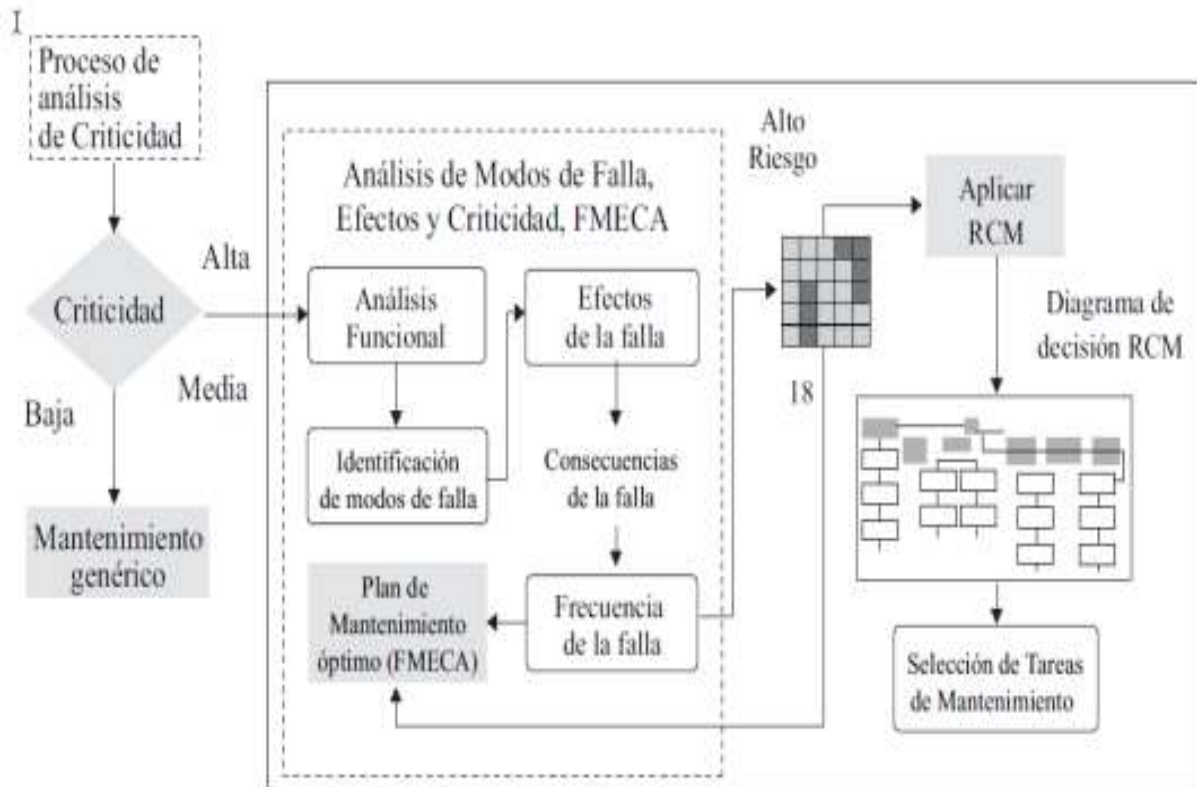
Tarea C en la que la falla obliga a reparar una vez haya ocurrido, esta tarea solo se aplica si el costo de la falla es menor al costo del mantenimiento preventivo, esta acción solo es válida en el caso que no tenga consecuencias para seguridad y medio ambiente.



Fuente: Creación propia.

Figura 3-7: Diagrama de decisiones RCM. (Moubray J. , 1997).

En la figura 3-8 se observa el proceso RCM, desde el inicio de recopilación de información, realización de un FMECA tal cual se realizó en el capítulo dos y por último el diagrama de decisión hasta las tareas de mantenimiento.



Fuente: Tecnología Ciencia Ed, Vol. 25.

Figura 3-8: Proceso RCM.

3.5.2. Aplicación de diagrama RCM:

Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				O1	O2	O3	Acción a falta			Frecuencia	Se realiza por	Referencia
		H	S	E	O				H4	H5	S4			
F	FF	FM				N1								
1	A	1	S	N	S	S							Operador	3.4.1. Inspección nivel de aceite
1	A	2	S	N	S	S							Operador	3.4.2. Inspección apriete de tuercas
1	A	3	S	N	S	S							Operador	3.4.3. Ajuste sistema de lubricación
1	A	4	S	N	S	S							Operador	3.4.4. Inspección disco de ruptura
1	A	5	S	N	S	S							Operador	NO APLICA
1	B	6	N	S	S	S							Operador	NO APLICA
2	B	7	S	N	S	N							Mecánico	3.4.3. Inspección válvulas
1	A	8	S	N	S	S							Mecánico	NO APLICA
1	A	9	S	N	S	S							Mecánico	
1	B	10	N	S	N	S							Mecánico	
1	A	11	S	N	S	S							Mecánico	3.4.3. Ajuste sistema de lubricación
2	B	12	N	S	S	N							Mecánico	
1	A	13	N	S	S	S							Mecánico	NO APLICA

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-9: Diagrama RCM.

3.6. INSPECCIONES

En esta sección del trabajo se estandarizan formatos y pautas de mantenimiento, además de definir los tiempos de mantención.

Para lograr la unificación y adecuada planificación de las tareas, es necesario diseñar distintos procedimientos y formatos que ayuden a las personas involucradas en realizar la tarea.

Las inspecciones son acciones que sirven para examinar y medir un producto o equipo, tales como los componentes, materiales y funcionamiento o proceso, utilizando instrumentos de medición, patrones de comparación o pruebas y ensayos con el fin de verificar si cumple los requisitos especificados.

3.6.1. Inspección diaria

Una inspección diaria o periódica consiste en revisar el equipo diariamente para establecer su estado actual y así poder iniciar un historial del equipo y su funcionamiento, que posteriormente facilite las mantenciones y la toma de decisiones en el futuro.

3.6.2. Inspección por horas

Las inspecciones que cumplen ciertas horas tratan a las tareas que son de corto y mediano plazo debido a la ubicación del equipo y por otro lado a la criticidad dentro de la jerarquización que se realizó anteriormente. Las tareas deben ser estipuladas y no se requiere la aplicación a diario. Dichas inspecciones contemplan, toma de mediciones (vibración, lubricante, solturas del equipo, consumo), limpieza y lubricación de elementos que estén en constante movimiento, es importante tener en cuenta que algunas actividades de inspección no requieren de mayor intervención del equipo, es decir, no debe ser desarmado o despojado de alguna de sus partes o componentes funcionales.

3.7. PAUTAS DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

3.7.1. Inspección nivel de aceite



INSPECCIÓN NIVEL DE ACEITE

1

OBJETIVO
Inspección de nivel de aceite y relleno en el caso de que sea necesario.


ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL


ÍTEM	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GUANTES DE SEGURIDAD
2	CASCO
3	LENTES DE SEGURIDAD
4	TYBEK
5	ZAPATOS DE SEGURIDAD



FIGURA 1


1.1 MÉTODO 1:
Si la bomba esta a temperatura de funcionamiento, debe detener totalmente el funcionamiento y esperar 2 minutos.
Si es necesario agregar aceite para engranajes sin detergente 80W/90 mientras el motor este apagado.





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-10: Inspección y cambio nivel de aceite, pagina 1.



SISTEMAS DE TRACCION
MANTENIMIENTO

INSPECCIÓN NIVEL DE ACEITE

2

Retire el tapón de llenado y agregue a través del puerto.


1.2 MÉTODO 2:

Si la bomba se ha puesto recién en marcha, aun se puede comprobar de forma fiable con los siguientes pasos


1. Con la unidad en terreno nivelado y motor funcionando a baja velocidad, active la toma de fuerza para que la bomba gire lentamente durante 15 segundos.
2. Desenganche la toma de fuerza
3. Compruebe el nivel de aceite en el indicador del sitio.
4. Si el nivel de aceite aun es visible en el indicador, hay suficiente aceite en el cárter para hacer funcionar la bomba de manera óptima.

1.3 CAMBIO O RELLENADO DE ACEITE

1. Con el motor apagado retire el tapón de drenaje de la válvula ubicado en la parte posterior de la caja del extremo de energía (Figura 1).
2. Coloque un recipiente debajo de la válvula grande para capturar el aceite.
3. Instale una manguera de extensión para extender el drenaje más allá del marco del remolque,
4. Abra la válvula de bola para drenar el aceite.
5. Una vez que se haya drenado el aceite de la caja, cierre la válvula de bola e instale el tapón.
6. Retire la placa de la cubierta trasera e inspeccione los imanes en la parte inferior de la bomba en busca de virutas o limaduras de metal.
7. Instale la placa de la cubierta trasera
8. Agregue aceite para engranaje 80W/90 a través del tapón de llenado.
9. Instale el tapón de llenado cuando termine de llenar.




SISTEMAS DE TRACCION
MANTENIMIENTO



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-11: Inspección y cambio nivel de aceite, página 2.

3.7.2. Inspección apriete de tuercas:



INSPECCIÓN APRIETE TUERCAS

1

OBJETIVO

Inspección de apriete de las tuercas de los prensaestopas.
 Verifique que los pernos de la cabeza estén bien apretados |
 Verifique el par de torsión de los pernos en una secuencia entrecruzada comenzando con los pernos centrales (Figura 1)

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

ÍTEM	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GUANTES DE SEGURIDAD
2	CASCO
3	LENTES DE SEGURIDAD
4	TYBEK
5	ZAPATOS DE SEGURIDAD

1.1 FIGURA:






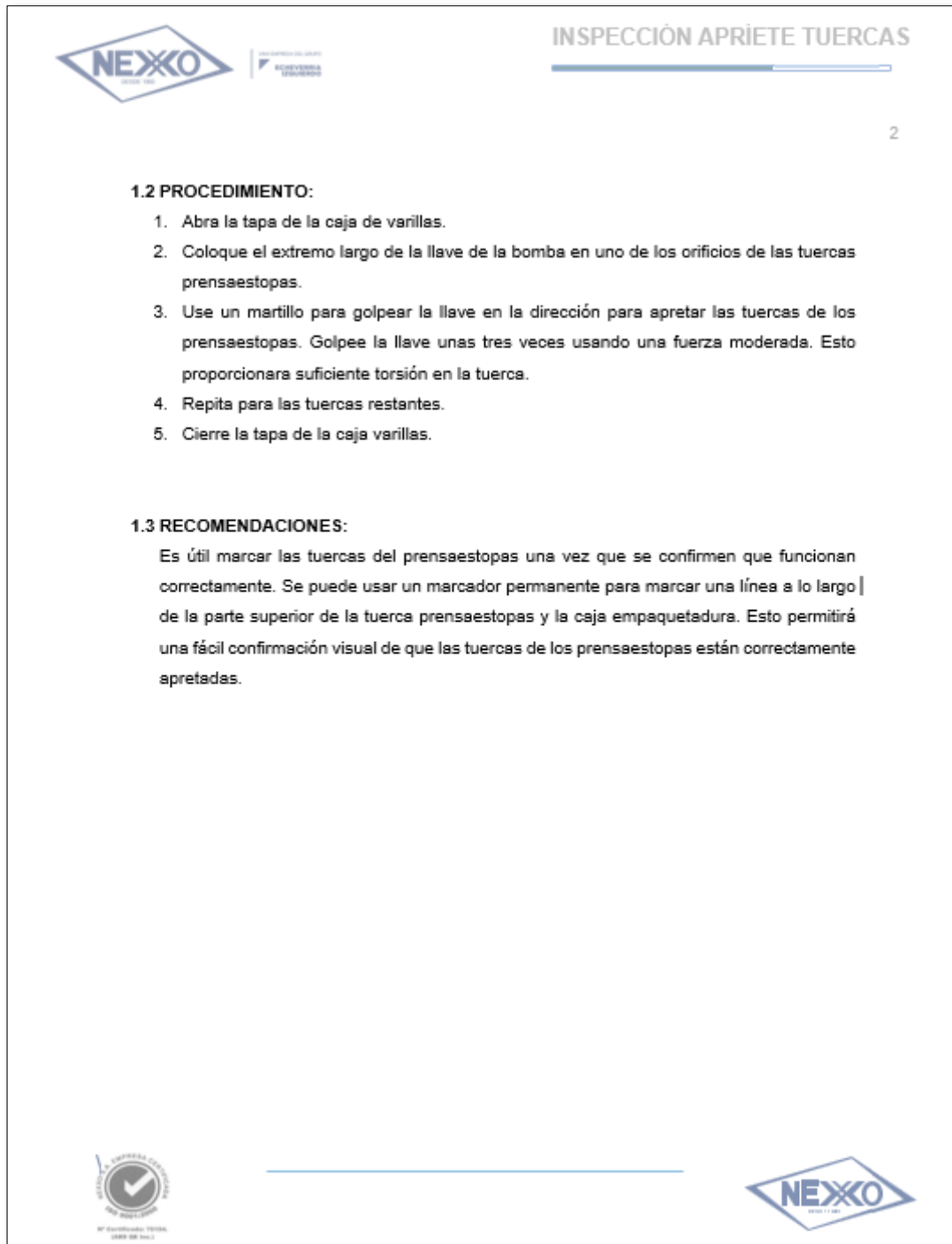
FIGURA 1





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-12: Inspección apriete tuercas, página 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-13: Inspección apriete tuercas, página 2.

3.7.3. Ajuste sistema de lubricación:



AJUSTE SISTEMA DE LUBRICACIÓN

1

OBJETIVO

Ajustar sistema de lubricación: correctamente en los colectores alimentados a presión equipados con válvulas de aguja

Comprobación del sistema de lubricación por agua.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

ÍTEM	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GUANTES DE SEGURIDAD
2	CASCO
3	LENTES DE SEGURIDAD
4	TYBEK
5	ZAPATOS DE SEGURIDAD

1.1 FIGURA:



Figura 1 Comprobación de lubricación.





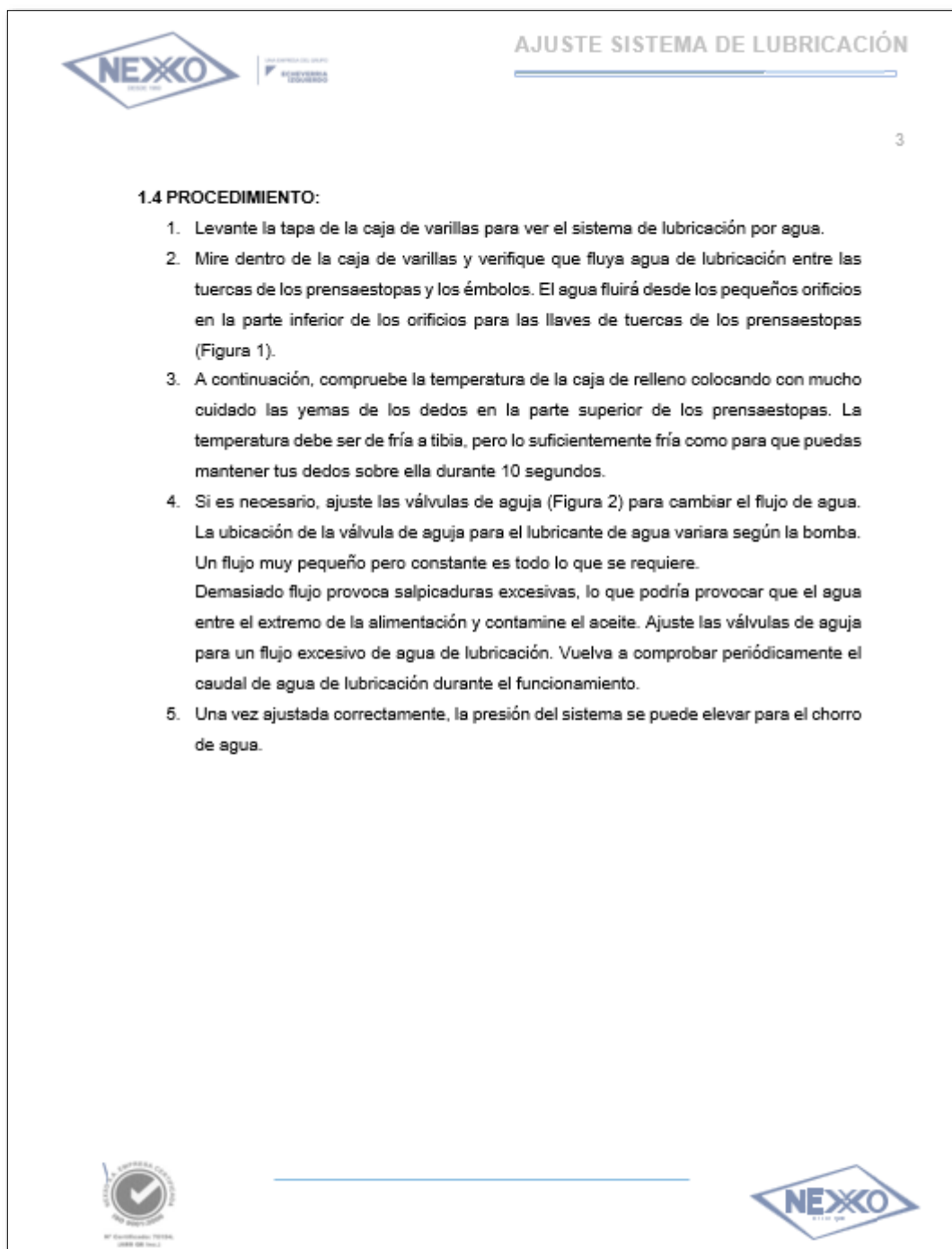
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-14: Ajuste sistema de lubricación, página 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-15: Ajuste sistema de lubricación, página 2.



NEXXO
11111 001


AGENCIAS
DISTRIBUIDAS

AJUSTE SISTEMA DE LUBRICACIÓN

3

1.4 PROCEDIMIENTO:

1. Levante la tapa de la caja de varillas para ver el sistema de lubricación por agua.
2. Mire dentro de la caja de varillas y verifique que fluya agua de lubricación entre las tuercas de los prensaestopas y los émbolos. El agua fluirá desde los pequeños orificios en la parte inferior de los orificios para las llaves de tuercas de los prensaestopas (Figura 1).
3. A continuación, compruebe la temperatura de la caja de relleno colocando con mucho cuidado las yemas de los dedos en la parte superior de los prensaestopas. La temperatura debe ser de fría a tibia, pero lo suficientemente fría como para que puedas mantener tus dedos sobre ella durante 10 segundos.
4. Si es necesario, ajuste las válvulas de aguja (Figura 2) para cambiar el flujo de agua. La ubicación de la válvula de aguja para el lubricante de agua variara según la bomba. Un flujo muy pequeño pero constante es todo lo que se requiere. Demasiado flujo provoca salpicaduras excesivas, lo que podría provocar que el agua entre al extremo de la alimentación y contamine el aceite. Ajuste las válvulas de aguja para un flujo excesivo de agua de lubricación. Vuelva a comprobar periódicamente el caudal de agua de lubricación durante el funcionamiento.
5. Una vez ajustada correctamente, la presión del sistema se puede elevar para el chorro de agua.




NEXXO
11111 001

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-16: Ajuste sistema de lubricación, página 3.

3.7.4. Inspección de válvulas:



INSPECCIÓN DE VÁLVULAS

1

OBJETIVO

Inspeccionar de válvula

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

ÍTEM	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GUANTES DE SEGURIDAD
2	CASCOS
3	LENTES DE SEGURIDAD
4	TYBEK
5	ZAPATOS DE SEGURIDAD

1.1 FIGURA:

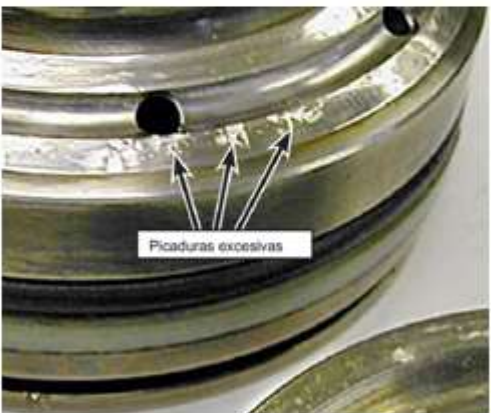




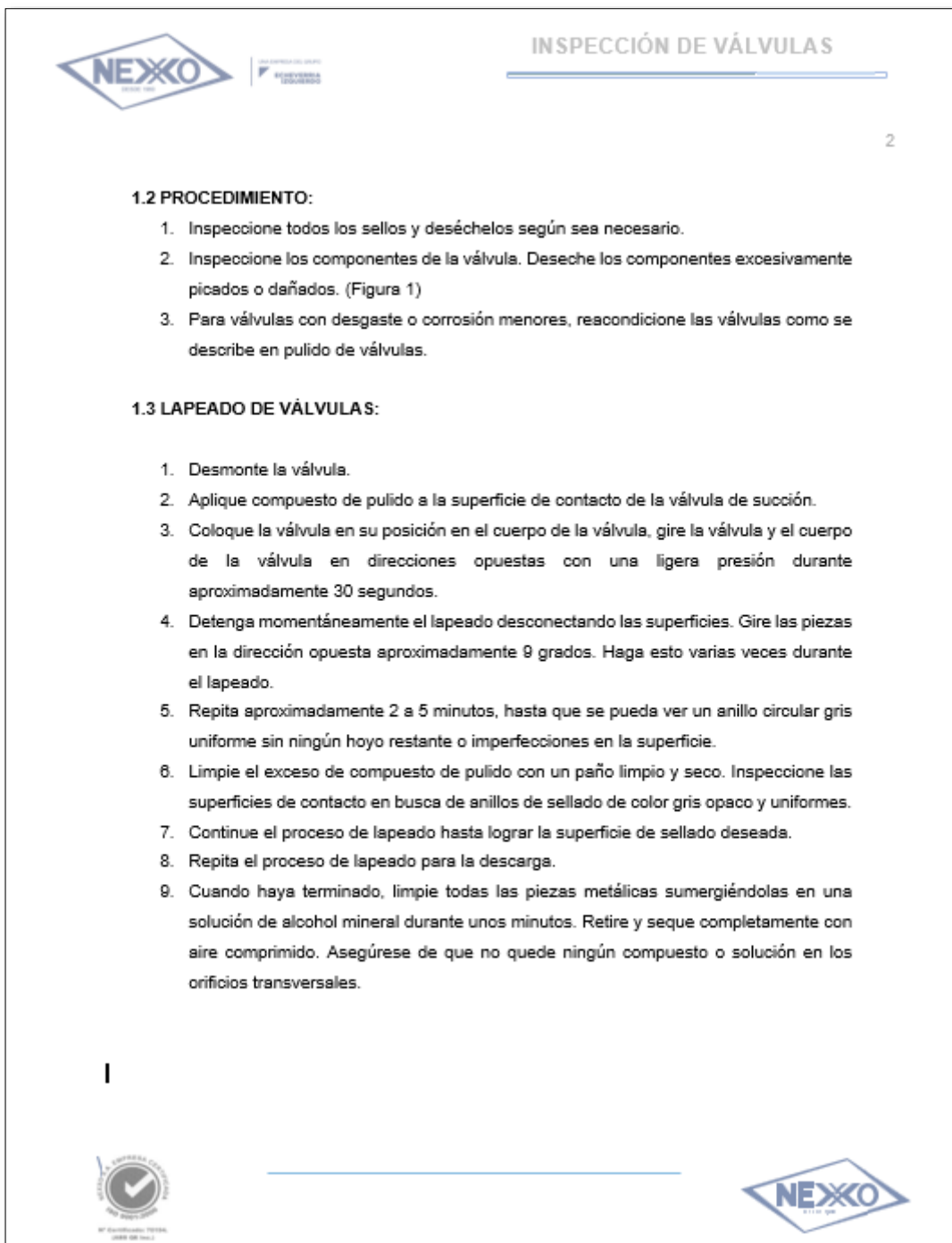
Figura 1





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-17: Inspección de válvulas, página 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-18: Inspección de válvulas, página 2.

3.7.5. Inspección disco de ruptura:



INSPECCIÓN DISCO DE RUPTURA

1

OBJETIVO

Inspeccionar disco de ruptura.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

ÍTEM	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GUANTES DE SEGURIDAD
2	CASCO
3	LENTES DE SEGURIDAD
4	TYBEK
5	ZAPATOS DE SEGURIDAD

1.1 FIGURA:



Figura 1 extracción tapa/gorra.





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-19: Inspección disco de ruptura, pagina 1.

NEXKO

Asociación
NEXKO

INSPECCIÓN DISCO DE RUPTURA

2

1.2 FIGURA:



Figura 2 extracción del disco.

1.3 PROCEDIMIENTO:

1. Use una llave ajustable para quitar la tapa (Figura 1) del conjunto del disco de ruptura.
2. Retire el disco de ruptura de la base e inspeccione.
3. Verifique que haya un disco instalado y que no haya sido dañado. Reemplace según sea necesario.
4. Vuelva a instalar la carcasa superior en el conjunto.
5. Repita para el disco de ruptura restante.



NEXKO

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-20: Inspección disco de ruptura, pagina 2.

3.5. PLAN DE MEJORA

Además de contar con un plan de mantenimiento correctivo y preventivo es necesario realizar un plan de mejora al sistema de limpieza con agua alta presión.

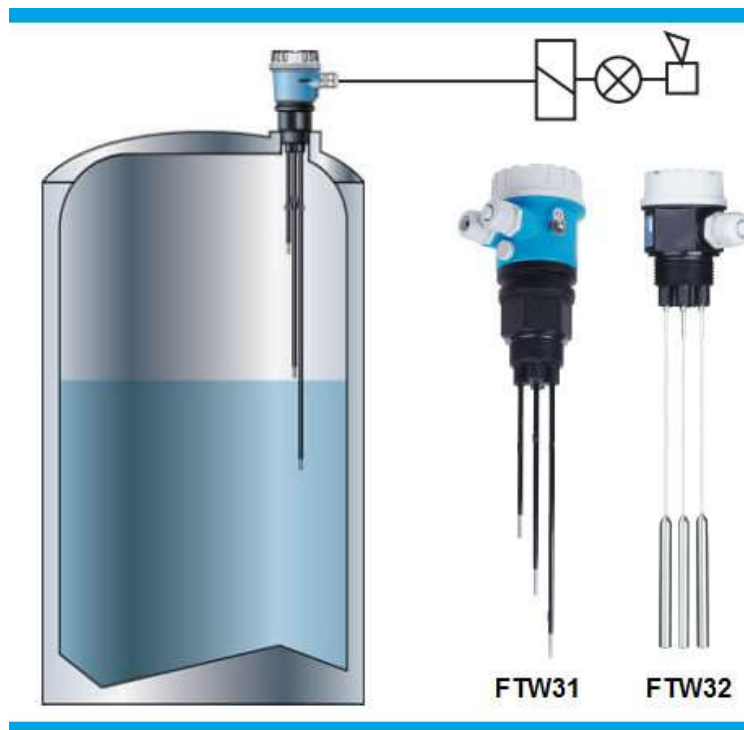
3.5.1. Sensor de nivel de agua

El control de nivel en líquidos funciona a través de continuidad eléctrica, al energizar el equipo este genera un voltaje de corriente alterna entre las barras de sondas que el sensor tiene. Cuando el líquido conductivo cierra el circuito entre la varilla de tierra de la sonda, una corriente fluye y es detectada por el sensor el cual emite una alarma.

El uso de voltaje interno que es adquirido por el arranque eléctrico de la bomba evita la corrosión de las varillas del sensor y la destrucción electrolítica del producto.

Las ventajas de su uso es que es un sensor sencillo, económico y larga vida útil para la medición en sus aplicaciones con líquidos con hasta cinco puntos de detección con una única varilla. No requiera calibración y su configuración es estándar para los líquidos más comunes.

El equipo más conocido es Liquipoint el cual sirve para la aplicación en los equipos antes mencionados ya que sirve para líquidos conductivos como agua, aguas residuales y alimentos líquidos. Permite detectar el nivel de forma sencilla y segura, para este caso particular se puede utilizar en el tanque del circuito para la protección de arranque en seco de la bomba o detección por la falta de agua.



Fuente: www.danfoss.com

Figura 3-22: Sensor de nivel de agua

3.5.2. Sensor de nivel de agua

Los filtros son clasificados por micras, para el caso de un filtro de líquidos esta clasificación indica la habilidad para remover contaminantes de acuerdo con el tamaño de las partículas del agua.

Las micras es una unidad de medida de longitud en el sistema métrico utilizada para medir la distancia de un punto a otro

Un filtro clasificado como “25 micra” tiene la capacidad para capturar partículas tan pequeñas como de 25 micras, sin embargo, esta medida es aproximada.

Actualmente en Nexxo se utiliza para todas las faenas independientemente de la zona geográfica un filtro de 25 micras. Para la zona centro-sur es aceptable ya que como se mencionó anteriormente el agua no trae los mismos contaminantes y sales que para las zonas norte.

Por lo que para ayudar a la mejora es cambiar el filtro de 25 micras a un filtro de 5 a 10 micras para la zona norte será un aspecto positivo a la hora del trabajo de limpieza.

3.6. ESTANDARIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

Otra idea de mejora es estandarizar procesos que, aunque parezcan obvio para el personal nuevo o que no tengan el conocimiento necesario ayuda a minimizar errores en los siguientes procesos:

3.5.2. Procedimiento estandarizado para trabajos con equipos de agua alta presión:

Objetivos:

El presente documento establece la metodología para desarrollar los trabajos de limpieza con agua a alta presión, especificando las mejores prácticas para la correcta ejecución de los trabajos.

Alcance:

Este procedimiento aplica a toda tarea de limpieza con agua a alta presión. Desde la instalación de los equipos hasta la completa realización del servicio.

Notas: Entiéndase como toda tarea: a trabajos de limpieza con pistola, Flexibles y mangueras de Alta Presión, la cual puede variar entre 1.000 a 40.000 [psi].

Si algunos de los trabajos de limpieza con agua a alta presión, no pueden ser realizados según el estándar del procedimiento se deberá generar un procedimiento de excepción, el cual debe ser autorizado por el encargado del trabajo (jefe de Obra o supervisor Nexxo) y por el cliente, el cual debe quedar firmado por ambas partes.

Responsabilidades

Responsable	Actividades
<p>Jefe de operaciones de la línea alta presión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el cumplimiento de los procedimientos e instructivos. • Generar los recursos para cumplir los requerimientos de la faena. • Entregar los antecedentes necesarios para la ejecución de la faena.
<p>Del jefe de faena</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Solicitar los antecedentes necesarios para la preparación de la faena. • Verificar el acopio y despacho de los recursos de faena. • Verificar el estado de los equipos. • Cumplir con los requerimientos de la faena. • Conocer y asegurarse de que se cumplan los procedimientos de limpieza con agua a alta presión. • Verificar las anotaciones de la Bitácora. • Solicitar las inspecciones inicial y final de las superficies a limpiar. • Confeccionar el informe final de faena. • Enviar bitácora digital diaria. • Solicitar al cliente llenar la “Encuesta de Satisfacción al cliente”.
<p>Del Supervisor</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener permisos de trabajo seguro y cumplir con los estándares de seguridad exigidos en las plantas en donde se ejecutan los trabajos. • Verificar que se cumpla este procedimiento y efectuar ART según Sistema de Gestión Nexxo S.A. • Garantizar que se están utilizando adecuada y correctamente los elementos de protección personal requeridos y las

	<p>herramientas a utilizar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la ejecución de trabajo se realice bajo los estándares de seguridad. • Verificar que los equipos a intervenir se encuentren bloqueados según estándares de la empresa mandante. • Llenar junto a un operador de alta presión, Registro • Revisar que el recurso de faena preparado cuente con los estándares de seguridad, calidad y medio ambiente. • Revisar que el recurso de faena preparado cuente con los estándares de seguridad, calidad y medio ambiente.
--	--

<p>Del Operador</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velar por el estado y funcionamiento de los equipos. • Cumplir con los requerimientos de la faena. • Verificar la perfecta conexión y apriete de los ensambles, lanzas, varillas y toberas. • Verificar que todas las conexiones de las mangueras y flexibles utilicen eslingas de seguridad para así evitar el desprendimiento brusco de esta. • Controlar la operación del pedal o válvula de corte de seguridad. • Cumplir con los procedimientos establecidos para el trabajo con agua a alta presión Nexxo y estándares de seguridad de las plantas en donde se ejecuten los trabajos. • Realizar las operaciones y trabajos en forma segura y efectiva. • Preparar el recurso de faena con todo lo necesario para ejecutar el servicio, cumpliendo con los estándares de seguridad, calidad y medio ambiente. • Utilizar adecuada y correctamente los elementos de protección personal requeridos para el trabajo y los sistemas anti-retroceso (backout) Si no están las condiciones para colocar backout.
----------------------------	---

<p>Prevención de Riesgos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Asesorar al personal de terreno sobre las instrucciones de Seguridad asociados al trabajo a realizar. • Observar condiciones y acciones subestándares en el lugar de trabajo. • Dar cumplimiento a la Política de Seguridad. • Verificar el cumplimiento de las disposiciones de seguridad. • Mantener un registro vigente de los exámenes ocupacionales y dar a conocer los resultados al personal. • Generar matriz de riesgos la cual formara parte del procedimiento general para trabajos con agua a alta presión.
-------------------------------------	--

Fuente: www.danfoss.com

Figura 3-23: Definiciones de responsabilidades.

Documentos aplicables:

- Certificado de mangueras y flexibles.
- Manual de operaciones de bombas de alta presión Nexxo.
- Procedimiento de pruebas hidrostáticas a mangueras P-LNAP-06.
- Instructivos usos de sistemas anti-retroceso I-LNAP-ZC-01.

Terminología:

Agua-Jet: Tratamiento de limpieza mediante el uso de chorros agua a presión, sin alterarla rugosidad de la superficie alcanzada previamente, por ejemplo, con chorro de arena u otro medio abrasivo.

Agua para usar: Debe ser de suficiente pureza y calidad para no contaminar las superficies a limpiar y menos alterar el funcionamiento de los equipos a usar.

Limpieza con agua a baja presión (Low-Pressure Water Cleaning = LP WC): Limpieza que emplea agua a presión menor que 1.000 psi.

Limpieza con agua a alta presión (High-Pressure Water Cleaning = HP WC): Limpieza que emplea agua a presión de 1.000 a 20.000 psi.

Jet con agua a alta presión (Ultrahigh-Pressure Water Jetting = UHP WJ): Limpieza que emplea agua a presión sobre 20.000 psi.

Bomba de alta presión: Bomba de pistones que entrega la energía para incrementar la presión del agua a un valor determinado según requerimiento. Esta presión puede ser regulada por medio de una válvula neumática y/o válvula de 3 vías o by pass.

Pistola de alta presión: Accesorio utilizado para la aplicación del Fluido de agua a alta presión cuando se requiere limpiar superficies de forma manual.

Tobera: Accesorio utilizado para realizar limpiezas interiores de cañerías y/o ductos. Pueden ser toberas fijas o rotatorias.

Boquilla: Accesorio utilizado en la punta de la pistola o inserto en las toberas, estas pueden ser de punta (0°) o de espátula (con ángulos).

Manguera para alta presión: Accesorio que se utiliza para conducir el flujo de agua a alta presión desde la descarga de la bomba hacia el punto de aplicación.

Válvula de pie: Accesorio que se utiliza para cortar o dar el flujo de agua entre la bomba y un accesorio, generalmente una tobera instalada con una lanza de alta presión en la punta de la manguera.

Lanza de alta presión: Accesorio de seguridad instalado entre la boquilla y el flexible para evitar la salida repentina y tener un mayor control sobre el flexible diseñado de acero inoxidable 316 L Sch 80.

Eslinga de seguridad: Piola de acero diseñada para evitar el desprendimiento brusco de la conexión de la manguera o flexible de alta presión.

Traje Anti-Corte: Traje o ropa utilizada por los operadores para trabajar con el sistema de chorro de agua a alta presión, esta puede ser de Kevlar.

Polainas Anti-corte: Accesorio utilizado para proteger el empeine y metatarso a los operadores para trabajar con el sistema de chorro de agua a alta presión, ésta puede ser de Kevlar o de duraluminio.

Bomba Centrifuga: También llamadas rotodinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bombas hidráulicas que transforman la energía de un impulsor.

Conector rápido: Elemento roscado para conectar 2 mangueras o flexibles de forma rápida y segura, este consta de un macho y una hembra.

Backout o anti-retroceso: Dispositivo instalado en la entrada de la cañería a limpiar (la cual puede ser un corte en el manto de la cañería, un flange o la boca de entrada de la cañería), para evitar que la tobera revierta su sentido de avance y se salga intempestivamente de su interior.

Eslinga trinquete: Elemento de sujeción flexible de 1" de ancho y 180 [Kg] (mínimo) de resistencia para la instalación del backout con sistema de extensión, cuando no se tiene un flange para instalar el mismo.

Nota de advertencia: No significa que presiones inferiores a 1.000 psi. No puedan causar lesiones o requieren menos atención a los principios de esta práctica.

Actividades del procedimiento:

- i) Ingreso a la faena
- ii) Coordinación con el personal de la empresa mandante, para el ingreso al área de trabajo, tanto del personal como los suministros.
- iii) Solicitud de los permisos de trabajo.
- iv) Realizar (ART para algunas empresas) en el lugar donde se ejecutará el trabajo.
- v) Personal debe utilizar los EPP básicos, para armar el circuito de limpieza de alta presión.
- vi) Instalación de equipos de alta presión.
- vii) Señalizar y delimitar área de trabajo.
- viii) Tendido del circuito de alta presión y selección de accesorios.
- ix) Realizar bloqueos de energía y chequeo de energía cero utilizando tarjeta y candado. Luego realizar inspección inicial de equipo o superficie a limpiar.
- x) Conexión a agua desmineralizada o agua potable.
- xi) Puesta en marcha del equipo de alta presión 0 [bar].
- xii) Realizar limpieza interna del circuito de alta presión eliminando el aire del sistema, utilizando bomba centrífuga de alimentación de agua solamente.
- xiii) Verificar que no existan fugas en equipo y circuito de alta presión, finalizar registro.
- xiv) Instalar accesorios y herramientas de trabajo (Pistolas, toberas, válvulas de pie, boquillas, etc.), asegurarse que las boquillas de las toberas, pistolas, estén limpias y destapadas, esto se debe hacer desde adentro hacia fuera, sino la obstrucción queda en el interior, esto se debe hacer cada vez que se cambie deposición el circuito de mangueras (que se hayan desconectado)

y en los cambios de turno. (cuando se hace el recurso de faena se debe chequear la limpieza y sedeben preparar las toberas, boquillas y accesorios de alta presión).

- xv) **Nota:** En las toberas utilizadas en mangueras o flexibles, el o los orificios frontales deben tener un diámetro igual o menor que el diámetro de los orificios de impulsión(traseros).
- xvi) Comenzar a aumentar la presión paulatinamente para lograr los niveles de limpieza deseados, esto dependerá del material de fabricación del elemento a limpiar y del equipo de alta presión que se use para la tarea, la limpieza puedeir desde los 1.000 [psi] hasta 18000 [psi]).
- xvii) Una vez terminada la limpieza el supervisor debe realizar inspección del trabajoejecutado.
- xviii) Si los resultados son positivos solicitar inspección por parte del mandante.
- xix) De no tener observaciones después de la inspección del mandante, finalizará lalimpieza.
- xx) Retiro de los equipos del área.
- xxi) Limpieza del área de trabajo.
- xxii) Llenar encuesta de satisfacción del cliente y firma de libro de obra.
- xxiii) Retiro de equipo de instalaciones del cliente

Normas generales de seguridad para trabajos con agua alta presión:

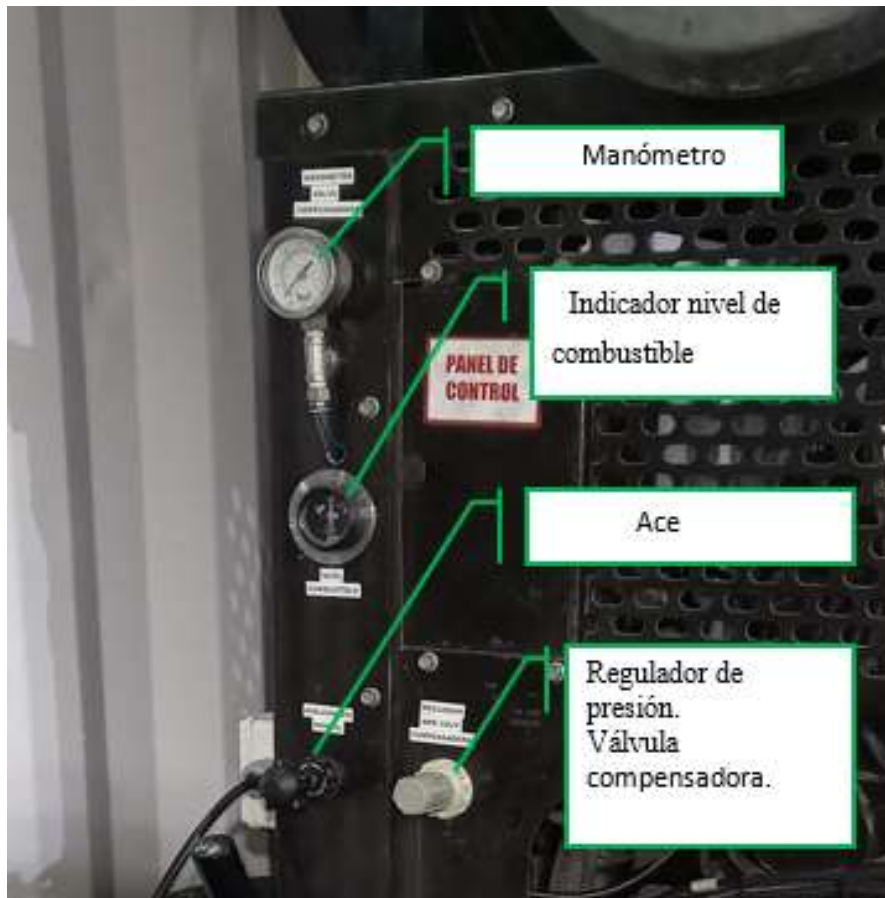
Inspección del motor:

- i. Inspección nivel de aceite motor (15W40)
- ii. Inspeccionar agua de refrigeración del motor.
- iii. Inspeccionar conexión de baterías de 12 volt.
- iv. Inspeccionar tensión de correa de motor.
- v. Revisar el nivel de combustible.
- vi. Revisar paradas de emergencias que no se encuentren activas.
- vii. Inspeccionar que no se encuentren elementos extraños que puedan dañar el motor.

Inspección de la bomba:

- i. Inspeccionar nivel de aceite bomba 80W90 tiene que encontrarse pasado a la mitad del visor.
- ii. Inspeccionar que tenga suministro de agua de alimentación.
- iii. Revisar tensión de correa de bomba.
- iv. Revisar que el estanque de almacenamiento de agua se encuentre con nivel suficiente sobre el mínimo.
- v. Inspeccionar que no se encuentren elementos extraños que puedan dañar la bomba.

Sector de operación:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-24: Partes del panel de control.

Funcionamiento del equipo:

- i. Inspeccionar que la palanca de acoplamiento no se encuentre enganchada, estase encuentra entre el motor y la bomba. Debe estar siempre hacia abajo.

Nota: PTO o toma fuerza se debe engrasar cada 10 horas de operación. Grasa a utilizar EP-2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-25: Palanca de acoplamiento.

- ii. Girar cortacorriente para energizar tablero. (caja metálica color rojo, que se encuentra al lado izquierdo del PTO).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-26: Corta corriente

- iii. El estanque de 2000 litros permite una autonomía de 10 min, aunque se recomienda, asegurar alimentación agua continua. Cuenta con una válvula automática con accionamiento por flotador que permite corte y apertura por nivel. Además de un switch tipo flotador de nivel mínimo.
- iv. En la parte superior de las carcassas porta filtros, en el proceso de llenado del estanque, las válvulas deben permanecer abiertas para liberar el aire acumulado al interior de la carcasa. El equipo cuenta con una batería de 3 litros. El primero, filtro primario lavable 50 micras, el segundo, filtro de manga desechable de 10 micras, el tercer, filtro secundario de manga desechable de 10 micras ubicado después del estanque.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-27: Filtros.

- v. Para encender el equipo:
- Revisar que las paradas de emergencia no estén activas.
 - Revisar que el nivel del agua haya superado el nivel mínimo.
 - Revisar que la bomba no este acoplada.
 - Girar la chapa de contacto del panel de control a la posición ON.
 - Al encender la pantalla, debe esperar 10 segundos para luego mover la chapa a la posición de STAR.
 - Al partir el motor, la chapa debe volver a la posición ON.

Se recomienda esperar al menos 10 minutos, para que el motor alcance la temperatura de trabajo. Verifique que los instrumentos de medición de temperatura y presión de aceite estén en los valores correspondientes, temperatura de agua máxima 80°C y presión de aceite de 4 bar. Si alguno de estos parámetros sobrepasa o baja se debe suspender la operación por posibles daños al equipo. Esta instrumentación se encuentra en el lado izquierdo frente a la bomba de alta presión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-28: Panel de control.

- vi. La alimentación de agua que lubrica los pistones debe estar con las válvulas abiertas al 100%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-29: Válvulas.

- vii. Regulador neumático tiene que estar abierto al 100%



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-30: Regulador neumático.

- viii. Enganchar la transmisión del equipo o palanca del PTO, esta se realiza tirando la palanca hacia el lado del motor, esta maniobra se realiza entre los 800 y 1.000 rpm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-31: Palanca del PTO.

Al no encontrar ninguna anomalía, aumentar las revoluciones (RPM) del motor según la caudal requerido. El motor debe trabajar entre 1.500 mínimo y 1.800 máximo. Las revoluciones se regulan de acuerdo con el caudal y presión que requiera.

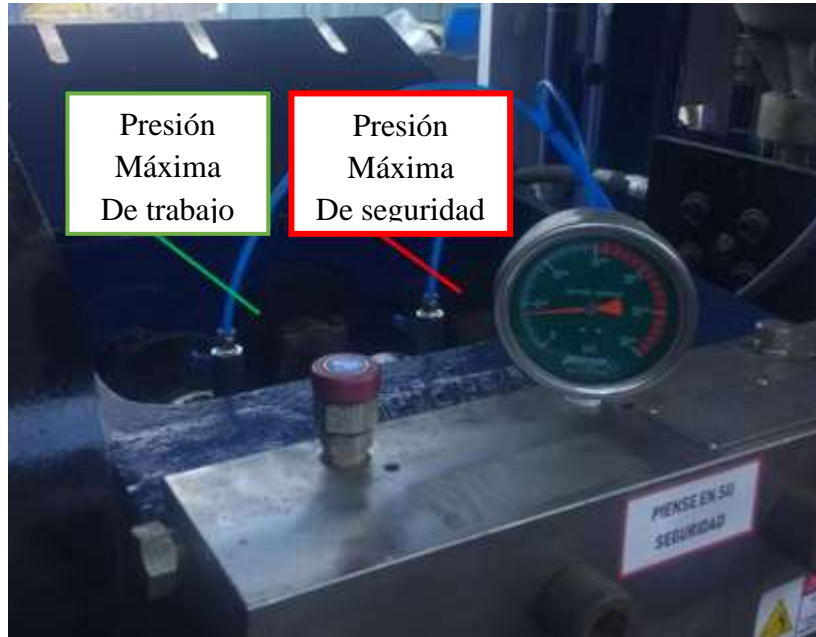
- ix. Regular las válvulas de enfriamiento de los pistones para eliminar el excesivo goteo (siempre tiene que quedar una pequeña gotera continua para asegurar que el pistón este lubricándose).
- x. Presurización de equipo. Para aumentar la presión de la bomba, se debe roscarla manilla de la válvula en sentido horario, paulatinamente. Realizar apriete en forma brusca, puede causar aumento de presión de golpe, ocasionando daños tanto al personal como al equipo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-32: Regulador.

- xi. La presión de la bomba se indicará en manómetro que se encuentra en el cabezal de la bomba de alta presión y en el manómetro neumático que se encuentra al costado izquierdo del panel de control.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-33: Manómetro.

- xii. Selector para Presión Alta y Baja. Luego de llegar a la presión requerida con la válvula reguladora, se puede subir o bajar la presión con el selector de presión. Antes de regular la presión de bomba con la válvula reguladora, el selector debe estar en la posición abierta.

3.7. COSTOS ASOCIADOS:

En esta sección es importante definir los costos para las mantenciones preventivas y comparar el presupuesto de las mantenciones correctivas. Además, determinar los costos asociados a las herramientas, insumos y mano de obra.

3.7.1. Costos mantenimiento correctivo:

Debido a la saturación de los filtros los componentes que saldrían dañados se presentan en la siguiente figura 3-34. Además, se representa el costo de las horas hombre.

COSTO DE COMPONENTES			
COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Filtro	3	\$8.925	\$ 26.775
kit vastago y asiento de la bomba	1	\$1.774.278	\$ 1.774.278
Válvulas	3	\$512.878	\$ 1.538.634
Cartridge	1	\$190.578	\$ 190.578
COSTOS HORA HOMBRE			
PERSONAL	COSTO H.H	TOTAL DE HORAS	TOTAL
Supervisor	\$5.556	1	\$ 5.556
Mecánico	\$4.444	3	\$ 13.333
Traslado	\$4.167	4	\$ 16.667
Total:			\$ 3.565.821

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-34: Tabla de costo de mantenimiento correctivo.

Los gastos representados en la tabla anterior demuestran que si no se realizara el cambio de filtros antes de la saturación el costo total de la mantención de la saturación sería \$3.565.821 CLP y costo de hora hombre de \$35.000. Por lo que si se comparase la mantención correctiva versus la mantención preventiva se obtendrían los siguientes resultados:

3.7.2. Costos mantenimiento preventivo:

Los costos del mantenimiento preventivo se detallan en la figura 3-35.

COSTO DE COMPONENTES			
COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Filtro	3	\$8.925	\$ 26.775
COSTOS HORA HOMBRE			
PERSONAL	COSTO H.H	TOTAL DE HORAS	TOTAL
Supervisor	\$0	0	\$ -
Mecánico	\$0	0	\$ -
Operador	\$3.056	0,1	\$ 306
Total:			\$ 27.081

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-35: Tabla de costo de mantenimiento correctivo.

3.7.3. Costos mantenimiento correctivo v/s mantenimiento preventivo:

En la figura 3-36 se observa la comparación entre ambos planes de mantenimiento con su debida frecuencia.

MANTENIMIENTO	PLAN MANTENIMIENTO CORRECTIVO	PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO
Costos insumos	\$ 3.530.265	\$ 26.775
Costos mano de obra	\$ 35.556	\$ 306
TOTAL:	\$ 3.565.821	\$ 27.081
	5 TURNOS	
	\$ 17.829.103	\$135.403
	DIFERENCIA	\$ 17.693.700

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-36: Tabla de costo de mantenimiento correctivo.

De la figura anterior se compara los costos del plan de mantenimiento correctivo versus la propuesta del preventivo, en el caso de que no se realizara el cambio de filtro a tiempo justo, el arreglo sería de \$3.565.821 CLP.

Por el contrario, si el cambio de filtro se realizara en cada turno, el costo de insumos y mano de obra sumaría un total de \$27.081 CLP.

Debido al porcentaje de aguas duras de cada zona geográfica que se realizan los trabajos de limpieza con agua alta presión el cambio de filtro no soporta más de dos turnos por lo que el plan de mantenimiento preventivo detallado y mencionado anteriormente, establece que los filtros deben cambiarse al empezar cada turno.

Los filtros con el mantenimiento correctivo que se utilizaban estaban siendo cambiados independiente de la zona geográfica en cada un turno y medio, por lo tanto, si se realiza un estimativo en cada turno se debía realizar un mantenimiento correctivo.

Por lo que en la figura 3-36 se realizan estadísticas de cuanto será el costo en 5 turnos, obteniendo un costo diferencial de \$17.693.700 CLP.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Nexxo S.A es una empresa prestadora de servicios industriales, siendo una de las empresas con mayor prestigio en servicios de limpieza, por su tecnología y gran capacidad de respuesta. Es por esto por lo que es de importancia crear un plan de mantenimiento que se pueda realizar en sus faenas, por su trabajo que se realiza mayoritariamente en faenas en todo el país y países vecinos.

Las mantenciones de las bombas de agua como se mencionó anteriormente son costosas no solo por los insumos, sino porque muchos repuestos se compran en el extranjero, por lo que tener un plan de mantenimiento optimo que se pueda realizar en cada faena es de suma importancia para seguir manteniendo contratos con los clientes.

Según lo que se estudió en este trabajo solo se realizaban acciones correctivo, lo cual no es conveniente para la empresa por el alto costo que genera no tener tareas programadas y organizadas.

Se determino que se lograron los objetivos planteados, ya que se está implementando el plan generando un historial de las fallas con el llenado de las inspecciones visuales, que los operadores tengan un instructivo para operaciones básica de las bombas.

Esto se logró en base a la información que se recopiló de fallas de las bombas y sistema de limpieza con agua alta presión, identificando a través de la metodología FMECA para luego realizar un RCM junto a la aplicación de diagrama decisión.

Por último, para poder evaluar la factibilidad económica de la propuesta se calculó los costos del mantenimiento correctivo y preventivo, determinando los niveles de la rentabilidad de la propuesta. Según los resultados obtenidos de la estimación la empresa financiaba mantenimiento correctivo por cada falla de saturación de filtro alrededor de \$3.565.821 CLP. Sin embargo, en la mantención preventiva los costos asociados \$27.081 CLP. Los cálculos fueron realizados en base a un cambio de filtro y a una mantención, en una faena se propone realizar un cambio de filtro al iniciar cada turno, sin embargo, las faenas aproximadamente duran una semana en promedio o 5 días, por lo que son 5 cambio de filtros y si no se realizan son 5 mantenciones correctivas. Ambos cálculos dan como diferencia \$17.693.700 CLP.

BIBLIOGRAFÍA

Arata, A. (s.f.). *Libro Manual de Gestion de Activos y Mantenimiento*.

Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance RCM II*.

Moubray, J. (2004). *RCM II*.