



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN CONTINUA DE QUÍMICOS PARA LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN LA ESTACIÓN SECOYA DEL ACTIVO LIBERTADOR BLOQUE 57 DE PETROAMAZONAS EP”

EDISON ERNESTO MANCERO OROZCO

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGISTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Riobamba – Ecuador

Noviembre, 2018

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN CONTINUA DE QUÍMICOS PARA LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN LA ESTACIÓN SECOYA DEL ACTIVO LIBERTADOR BLOQUE 57 DE PETROAMAZONAS EP”, de responsabilidad del Sr Edison Ernesto Mancero Orozco ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Fredy Bladimir Proaño Ortiz; PhD.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Carlos José Santillán Mariño; M.Sc.

TUTOR

FIRMA

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos;
M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. Juan Carlos Gonzales García; M.Sc.

MIEMBRO

FIRMA

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, EDISON ERNESTO MANCERO OROZCO, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

EDISON ERNESTO MANCERO OROZCO

CI: 060208574-8

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Edison Ernesto Mancero Orozco, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

EDISON ERNESTO MANCERO OROZCO

CI: 060208574-8

DEDICATORIA

Los logros personales son producto de la perseverancia en el tiempo, que le dedicas a plasmar en el papel los objetivos trazados, aunque esos objetivos impliquen restarle tiempo y compañía a nuestros seres queridos, motivos suficientes para dedicar todo este sacrificio familiar a mi Padre Gustavo Mancero (+), mi madrecita Carmen Orozco (+), a mi esposa Marcia Vargas, mis hijos Adriana Gabriela, Mayerli Daniela, Denis Ariel y Edison Josué, así como también a todos mis hermanos por sus mensajes de aliento, tiempo, preocupación y apoyo incondicional que de una u otra manera formaron parte para el cumplimiento de las metas trazadas.

También dedico este esfuerzo al Ing. Angel Orozco por su capacidad y tiempo que ofreció al acompañarme en el desarrollo de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios el dador de vida, por ser la fuente de inspiración espiritual, porque a pesar de las adversidades que la vida nos ofrece hemos llegado a cumplir las metas propuestas.

Un agradecimiento muy especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al personal que labora en el Instituto de Posgrado y Educación Continua, a los docentes que participaron e integraron como miembros del tribunal y que tuvieron la paciencia de dedicar su tiempo para las revisiones correspondientes y hacer las recomendaciones acertadas para corregir desviaciones detectadas a fin de que el trabajo de investigación tenga el grado de calidad exigido.

A los compañeros de trabajo que incondicionalmente atendieron mis solicitudes de información para el enriquecimiento del texto y el trabajo realizado.

Edison Ernesto Mancero Orozco

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1	Planteamiento del problema	3
1.2	Formulación del problema	4
1.3	Sistematización del problema	4
1.4	Objetivos de la Investigación	4
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5	Hipótesis	5
1.6	Justificación de la Investigación.....	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO DE REFERENCIA.....	9
2.1	Marco Teórico.....	9
2.1.1	<i>Importancia de la inyección de químico</i>	9
2.1.2	<i>Sistemas de Inyección</i>	9
2.1.3	<i>Tasa de Inyección</i>	9
2.1.4	<i>Temperatura</i>	9
2.1.5	<i>Gravedad Específica</i>	10
2.1.6	<i>Viscosidad</i>	10
2.1.7	<i>Ángulo de Dispersión</i>	10
2.1.8	<i>Punto de Inyección</i>	10
2.1.9	<i>Descripción general de los químicos utilizados en el Bloque 57 Libertador</i> 11	
2.1.10	<i>Inhibidores de incrustación</i>	11

2.1.11	<i>Inhibidores de corrosión</i>	11
2.1.12	<i>Antiparafínicos</i>	11
2.1.13	<i>Coagulante</i>	11
2.1.14	<i>La bomba de inyección o alimentadora</i>	13
2.1.15	<i>Presiones que se manejan en la inyección de químico</i>	13
2.1.16	<i>Diferencial de Presión</i>	13
2.1.17	<i>Selección del Material</i>	13
2.1.18	<i>Válvula Check</i>	14
2.1.19	<i>Válvula de Aislamiento</i>	14
2.2	Marco Conceptual	14
2.2.1	<i>Tratamiento químico en las operaciones petroleras</i>	14
2.2.2	<i>¿Qué es Confiabilidad Operacional?</i>	15
2.2.3	<i>Análisis de Criticidad de Equipos</i>	19
2.2.4	<i>¿Qué son los Diagramas de Pareto?</i>	19
2.2.4.1	<i>Diagrama de Pareto de Fenómenos</i>	19
2.2.4.2	<i>Diagrama de Pareto de Causas</i>	19
2.2.5	Introducción al RCM	20
2.2.5.1	<i>Aspectos teóricos básicos del RCM</i>	20
2.2.5.2	<i>Metodología RCM para sistemas de inyección continua de químicos</i>	20
2.2.5.3	<i>Implantación del proceso RCM</i>	22
2.2.5.4	<i>Fase inicial del Proceso de Implantación del RCM</i>	23
2.2.5.5	<i>Fase de implantación del RCM</i>	24
2.2.6	Determinación de las funciones y estándares	25
2.2.6.1	<i>Función primaria</i>	25
2.2.7	Fallas Funcionales, identificación de los modos y efectos y consecuencias de falla mediante la utilización de técnicas de Análisis de modos, efectos de falla y criticidad, (AMFEC)	26
2.2.7.1	<i>Fallas funcionales</i>	26
2.2.7.2	<i>Identificar modos de falla</i>	28
2.2.7.3	<i>Efectos y consecuencias de falla</i>	29
2.2.7.4	<i>Evidencia del Fallo</i>	29
2.2.7.5	<i>Riesgos para el medio ambiente</i>	29
2.2.7.6	<i>Afectaciones a la producción y/o la operación</i>	30
2.2.7.7	<i>Efectos sobre la capacidad operacional</i>	30
2.2.7.8	<i>Acciones correctivas</i>	30
2.2.7.9	<i>El nivel de análisis</i>	31

2.2.7.10	<i>Aplicación de la lógica RCM.....</i>	31
2.2.8	Tasa de fallos.....	33
2.2.8.1	<i>Tiempo medio entre fallos MTBF.....</i>	34
2.2.8.2	<i>Tiempo medio para reparación MTTR.....</i>	34
2.2.9	Disponibilidad.....	34
2.2.10	Confiabilidad.....	35

CAPÍTULO III

3.	DETERMINACIÓN DE INDICADORES CLASE MUNDIAL, TASA DE FALLOS, TIEMPO DE REPARACIÓN Y CRITICIDAD DE EQUIPOS ASOCIADOS.....	36
3.1	Registro de fallos.....	36
3.1.1	<i>Datos para la elaboración de un diagrama de Pareto.....</i>	40
3.2	<i>Determinación de la tasa de fallos y tiempo de reparación.....</i>	42
3.3	<i>Demostración de la hipótesis.....</i>	43

CAPÍTULO IV

4.	PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE QUÍMICOS EN ISLAS DE PRODUCCIÓN SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA NORMA SAE-JA-1011.....	44
4.1	Determinación del grupo natural de trabajo.....	44
4.2	Descripción del contexto operacional para sistemas de inyección de químicos en pozos.....	45
4.2.1	<i>Proceso Continuo.....</i>	46
4.2.2	<i>Redundancia.....</i>	46
4.2.3	<i>Estándares de Calidad.....</i>	47
4.2.4	<i>Estándares medio ambientales.....</i>	47
4.2.5	<i>Riesgos para la Seguridad.....</i>	48
4.2.6	<i>Turnos de trabajo.....</i>	51
4.2.7	<i>Entorno o ubicación.....</i>	51
4.2.8	<i>Repuestos.....</i>	52
4.3	Descripción del contexto operacional para sistemas de inyección de químicos en Estación o planta de proceso.....	53
4.4	Determinación de las funciones.....	54
4.4.1	<i>Componentes del sistema de inyección de químicos.....</i>	55

4.4.2	<i>Describiendo Funciones:</i>	56
4.4.3	<i>Función primaria.</i>	56
4.4.4	<i>Cómo deben listarse las funciones.</i>	56
4.4.5	<i>Función Primaria de un Bulk Tank.</i>	57
4.4.6	<i>Función Primaria de un Tablero de Control</i>	58
4.4.7	<i>Función Primaria de un Motor Eléctrico</i>	58
4.4.8	<i>Función Primaria de un Acople Mecánico</i>	59
4.4.9	<i>Función Primaria de la Válvula de Seguridad PSV</i>	59
4.4.10	<i>Función Primaria de Indicador de Presión</i>	60
4.5	Determinación de las fallas funcionales.	61
4.5.1	<i>Falla funcional en un Bulk Tank</i>	63
4.5.2	<i>Falla funcional del Panel de Control</i>	64
4.5.3	<i>Fallas Funcionales del Motor Eléctrico</i>	64
4.5.4	<i>Fallas funcionales del Acople Mecánico</i>	65
4.5.5	<i>Fallas funcionales de la Bomba de Inyección</i>	66
4.5.6	<i>Fallas funcionales del Power End</i>	66
4.5.7	<i>Fallas funcionales del Fluid End</i>	67
4.6	Determinación de los modos de falla	68
4.7	Determinación de los efectos de falla.	70
4.8	Plan de mantenimiento sistema de inyección de químico	72
4.8.1	<i>Instrucciones de operación</i>	73
4.8.2	<i>Tasa de flujo</i>	73
4.8.3	<i>Reemplazo de los engranajes de desplazamiento de velocidad</i>	73
4.8.3.1	<i>Desmontaje del mecanismo de potencia (Power End)</i>	74
4.8.3.2	<i>Retirar el ítem 28 del crosshead de engranaje</i>	75
4.8.3.3	<i>Retirar el ítem de desgaste 37 y el artículo 46 que lleva la caja de engranajes</i>	75
4.8.3.4	<i>Retirar el engranaje y el eje ítem 12</i>	75
4.8.3.5	<i>Inyector químico (Fluid End)</i>	75
4.8.4	Cronograma de Mantenimiento	76
4.8.4.1	<i>Programación de mantenimiento eléctrico</i>	79
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Cantidad de Bombas de Químico Bloque 57 Libertador	25
Tabla 1-3:	Datos para la elaboración de un diagrama de Pareto.....	40
Tabla 2-3:	Índices de fiabilidad pozos Secoya	42
Tabla 3-3:	Resultado de MTBF actual y esperado	43
Tabla 1-4:	Requisitos Norma SAE-JA1011.....	45
Tabla 2-4:	Requisitos Norma SAE-JA1011	45
Tabla 3-4:	Hoja de Información RCM II.....	57
Tabla 4-4:	Modos de fallo componentes bulk tank.....	68
Tabla 5-4:	Modos de fallo componentes Panel de Control.....	68
Tabla 6-4:	Modos de fallo componentes Motor Eléctrico	69
Tabla 7-4:	Modos de fallo componentes Acople Mecánico	69
Tabla 8-4:	Modos de fallo componentes bomba de inyección Power End.....	69
Tabla 9-4:	Modos de fallo componentes bomba de inyección Fluid End.....	69
Tabla 10-4:	Modos de fallo Accesorios.....	69
Tabla 11-4:	Efectos Bulk Tank.....	70
Tabla 12-4:	Efectos Panel de Control.....	70
Tabla 13-4:	Efectos Motor Eléctrico	71
Tabla 14-4:	Efectos Acople Mecánico	71
Tabla 15-4:	Efectos bomba de inyección Power End	71
Tabla 16-4:	Efectos bomba de inyección Fluid End.....	71
Tabla 17-4:	Efecto Accesorios.....	72
Tabla 18-4:	Programación equipos de superficie sección eléctrica	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ubicación de la Estación Secoya.....	6
Figura 2-1:	Ubicación Geográfica Provincia de Sucumbíos.....	6
Figura 3-1:	Distribución de bombas Activo Libertador. Incluye bombas de Secoya.....	7
Figura 4-1:	Mapa Vial.....	8
Figura 1-2:	Puntos de Inyección de Químicos.....	10
Figura 2-2:	Matriz general de químicos utilizados Secoya B57 LI.....	12
Figura 3-2:	Diversidad de químicos utilizados Secoya B57 LI.....	12
Figura 4-2:	Corte de Tuberías y efectos por la inyección inadecuada de químicos.....	15
Figura 5-2:	Las Cuatro Vertientes que determinan la Confiabilidad de un Activo.....	17
Figura 6-2:	Causa de un Modo de Falla.....	28
Figura 7-2:	Diagrama de Evaluación de Tareas RCM.....	32
Figura 8-2:	Representación de la tasa de fallos.....	33
Figura 9-2:	Representación de la tasa de fallos.....	35
Figura 1-3:	Métricas Comunes de Fiabilidad y Mantenibilidad.....	36
Figura 2-3:	Sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil & Gas.....	37
Figura 3-3:	Formulario para registro de fallo.....	39
Figura 4-3:	Diagrama de Pareto eventos de falla en pozos Secoya.....	41
Figura 1-4:	Disposición Bombas de inyección de químicos.....	46
Figura 2-4:	Plan de Manejo Ambiental (PMA).....	47
Figura 3-4:	HMIS III.....	49
Figura 4-4:	Sistema sin protección de Seguridad PSV & PI.....	50
Figura 5-4:	Sistema con protección de Seguridad PSV & PI.....	50
Figura 6-4:	Protección metálica bunker.....	51
Figura 7-4:	Sistema de inyección de Químico en Planta de Proceso.....	53
Figura 8-4:	Esquema de un sistema de inyección de químicos.....	54
Figura 9-4:	Componentes de un sistema de inyección de químico.....	55
Figura 10-4:	Acumulador de químico Bulk Tank.....	57
Figura 11-4:	Panel de Control.....	58
Figura 12-4:	Motor Eléctrico.....	59
Figura 13-4:	Acople Mecánico bomba-motor.....	59
Figura 14-4:	Válvula de Seguridad PSV.....	60
Figura 15-4:	Bomba de inyección de químico.....	61
Figura 16-4:	Power End y Fluid End.....	66
Figura 17-4:	Caja de mecanismos Fuente: Catalogo del fabricante.....	74

Figura 18-4: Cronograma de mantenimiento de motores eléctricos.....	77
Figura 19-4: Cronograma de mantenimiento de Variadores de frecuencia.....	78

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

EP	Empresa Pública
SAE	Society Automative Engineer
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
B57 LI	Bloque 57 Libertador
VAC	Voltage Alternate Current
SEIP	(Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero)
GPH	Galones por hora
LPD	Litros por día
GPD	Galones por día
PVC	Polimerización de cloruro de Vinilo
SCY	Secoya Estación
SYP	Secoya Pozos
QTY	Cantidad
PTA	Planta tratamiento de agua
RYA	Reinyección de agua
W/O	Work Over
PSI	Poundal Square Inch
PSIG	Poundal Square Inch Gauge
PH	Potencial de Hidrogeno
MCO	Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional
CO	Confiabilidad Operacional
RCM	Reability Centered Maintenance
ISO	International Standar Organization
NTC	Norma técnica colombiana
MSG	Maintenance Steering Groups
FAA	Fuerza Aérea Americana

FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
GPD	Galones por día
SS	Salud y seguridad
SSA	Seguridad Salud y Ambiente
AMFEC	Análisis modo falla efecto y criticidad
H	Fallo Oculto
E	Fallo Evidente
TBF	Tiempos de buen funcionamiento
TA	Tiempos de averías
TBF	Tiempo entre fallos
TA	Tiempo de parada
TTR	Tiempo de reparación
TO	Tiempo de operación
N	Numero de fallos en el periodo considerado
TTR	Tiempo total de reparación
λ	Tasa de Fallos (lamda)
MCC	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
FIC	Facilidades Ingeniería y Construcción
PMA	Plan de Manejo Ambiental
HMIS	Health Material Information Safety
PSV	Pressure Safety Valve
CP	Tablero de Control
MEL	Motor Eléctrico
PPD	Bomba de desplazamiento positivo
HPS	Horizontal pump system
PPD	Positive Pump Displacement
DSP	Direct Start Power
PM	Mantenimiento Preventivo

Hp	horse power
SDT	Transformador Reductor
SUT	Transformador Elevador
VSD	Variador de velocidad
kVA	kilo volta amperios
CR-LI-MS	Coordinador de libertador sistema máximo
SBBQ	Sistema de bombeo bomba de químico
BES	Bomba electro sumergible
SBES	Sistema bombeo electro sumergible.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar la confiabilidad operacional del sistema de inyección continua de químicos en la planta de procesos Secoya y sus pozos productores de petróleo. Secoya forma parte del activo Libertador Bloque 57 de Petroamazonas EP, está localizado en la región amazónica del Ecuador en la provincia de Sucumbíos, geográficamente se encuentra ubicado en línea recta con Quito entre las latitudes 00° 06' 00" N, 00° 04' 00" S y longitudes 76° 33' 00" E y 76° 35' 29.65" O. Para alcanzar la meta de la investigación se utilizó las metodologías que propone el Mantenimiento Centrado de la Confiabilidad, evaluación de los criterios de la norma SAE JA 1011, elaboración del formulario para registro de eventos y fallas, evaluación de 32 sistemas de inyección de químico en pozos, cuyos resultados estadísticos permitieron crear un diagrama de Pareto, donde 18 sistemas son considerados como vitales y 14 sistemas como triviales, a partir de estos resultados se determinan los indicadores de mantenimiento como el MTBF (Mean Time Between Failure/Tiempo Medio Entre Fallos), MTTR (Mean Time Total Reparation/ Tiempo Medio de Reparación Total), disponibilidad, y confiabilidad de estos sistemas, entre el 14 y 92%, en un período de operación de 720 horas. Para el mejoramiento confiabilidad operacional de un activo, se recomienda la determinación y aplicación de indicadores de clase mundial, así como también poner atención el actuar del ser humano en las operaciones de cualquier empresa es vital e importante a lo que se conoce como la Confiabilidad Humana.

PALABRAS CLAVE: <CONFIABILIDAD OPERACIONAL>, <CONFIABILIDAD HUMANA>, <MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURE/TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS)>, <MTTR (MEAN TIME TOTAL REPARATION/ TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN TOTAL)>, <DISPONIBILIDAD>, <MANTENIMIENTO CENTRADO DE LA CONFIABILIDAD>

SUMMARY

The objective of this investigation is to analyze the operational reliability of the continuous injection system of chemical at the Secoya process plant and its oil producing wells. Secoya is part of the asset Liberator Block 57 of Petroamazonas EP, located in the Amazon región of Ecuador, Sucumbios province, is geographically located in a straight line with Quito between latitudes $00^{\circ} 06' 00''$ "N, $00^{\circ} 04' 00''$ "S and longitudes $76^{\circ} 33' 00''$ E and $76^{\circ} 35' 29.65''$ W. In order to reach the goal of the investigation, the methodologies proposed by Reliability Centered Maintenance were used, evaluation of criteria in the norm SAE JA 1011, elaboration of the form for registration of events and faults, evaluation of 32 systems of injections of chemical in Wells, these statistical results allowed to create a Pareto diagram, where 18 systems are considered as vital ones and 14 systems as trivial ones, from these results, maintenance indicators are determined, indicators such as the MTBF (Mean Time Between Failure), MTTR (Mean Time Total Repairation), availability and reliability of these systems, between 14 and 92%, in a 729-hours operation period. For the improvement of the operational reliability of an asset, the determination and application of world-class indicators is recommended, as well as to pay attention to the behavior of the human being in the operation of any company is vital and important which is known as Human Reliability

KEYWORDS: <OPERATIONAL RELIABILITY>, <HUMAN RELIABILITY>, <MTBF (MEAN TIME BETWEEN FAILURE)>, <MTTR (MEAN TIME TOTAL REPARATION)>, <AVAILABILITY>, <CENTERED MAINTENANCE OF RELIABILITY>

INTRODUCCIÓN

Mediante Decreto Ejecutivo No. 314 del 6 de abril de 2010, vigente desde su publicación en el Registro Oficial Suplemento No. 171 de 14 de abril de 2010, y al amparo de la Ley Orgánica de Empresas Públicas, se creó la Empresa Pública de Exploración y Explotación de Hidrocarburos PETROAMAZONAS EP.

La empresa dedicada a la gestión de las actividades asumidas por el Estado en el sector estratégico de los hidrocarburos y sustancias que los acompañan, en las fases de exploración y explotación; con patrimonio propio, autonomía presupuestaria, financiera, económica, administrativa y de gestión.

PETROAMAZONAS EP asume la gestión y operación de exploración y explotación de las áreas y campos: Bloque 15, Edén Yuturi y Limoncocha, Pacay, Quilla, Aguajal, Pañacocha, Paka Norte, Paka Sur, así como los Bloques, áreas y/o campos que le sean asignados por el Ministerio del Ramo, por medio de la Secretaría de Hidrocarburos.

La situación actual del sector petrolero ecuatoriano está determinada por la interacción de tres tipos de actores: empresas públicas, operadoras privadas y empresas de servicios Petroleros. Así mismo, están bajo la influencia de factores externos determinados en su mayor parte por: políticas que afectan al sector hidrocarburos, los mercados internacionales y la base de recursos naturales con que cuenta el Ecuador.

Al ser una empresa con un Plan Estratégico, Instituciones con un Plan Operativo Anual, deben cumplir con objetivos metas y políticas, por ello necesitan realizar una constante retroalimentación de procesos y análisis que contribuyan a los procesos y procedimientos.

Para el proceso de producción de petróleo en el área Secoya Bloque 57 de PETROAMAZONAS EP, se requiere la inyección y tratamiento químico, a través de bombas de desplazamiento positivo recíprocas, proceso que exige que este tipo de equipos cumplan con su función las 24 horas, durante los 365 días del año; por lo que la inyección de químicos es continua. De allí surge la necesidad de realizar un análisis de confiabilidad operacional de estos sistemas.

Para la realización de la presente investigación en el CAPITULO I, se identificó la problemática

con la finalidad de trazar la metodología para llegar a la meta, en la misma se determinó que existe pérdida de la capacidad de funcionamiento deseado por el usuario para la inyección continua de químico, en los procesos de producción de petróleo.

En el CAPITULO II se fundamentó, teórica y epistemológicamente y se identificó los parámetros para ser considerados como indicadores, mismo que permitieron obtener información para analizarlos, interpretarlos y evaluarlos. Los datos obtenidos fueron confrontados a través de un comparativo que sirvió para comprobar la hipótesis planteada en la presente investigación.

En el CAPITULO III, a través de técnicas de recolección de información e instrumentos, se tabuló e interpretó la información, para ello se utilizó el sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil & Gas, y mediante diagramas de Pareto se identificaron los sistemas de inyección de químico que presentaron mayor frecuencia de fallos.

A estos sistemas se centró la atención para determinar los indicadores de mantenimiento como son MTBF, MTTR, disponibilidad, Confiabilidad. Finalmente, en CAPITULO IV, se elaboró una propuesta para el plan de mantenimiento de sistemas de inyección de químicos para islas de producción (pozos).

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En los procesos de exploración y producción de petróleo es requisito fundamental la inyección y el tratamiento químico, para lo cual se utilizan bombas de desplazamiento positivo reciprocantes, acoplados a un motor eléctrico y, mediante líneas de acero inoxidable que van desde 3/8" a 1/2" de diámetro, suministran el químico proveniente desde un tanque acumulador (bulk tank) hasta la bomba, para que de allí se inyecte al punto seleccionado.

El proceso exige que este tipo de equipos cumplan con su función las 24 horas del día durante los 365 días del año, de allí que la inyección de químicos es CONTINUA.

La pérdida de la capacidad de funcionamiento deseado por el usuario para la inyección continua de químico en los procesos de producción de petróleo, se ha determinado como problema central, el cual se convierte en un factor causal en la desviación de los parámetros de calidad establecidos, baja eficiencia en los procesos para producción de petróleo, así como también daños en tuberías, daños mayores en los equipos y componentes del sistema de levantamiento con bombas electro sumergibles de los pozos de producción de petróleo, cuyos costos de intervención son muy significativos, dentro de las operaciones y mantenimiento de pozos conocido en el ámbito petrolero como WORKOVER.

Los múltiples fallos en el sistema de inyección continua de químicos provocan, además, controversias entre solicitantes y ejecutores cuando este fallo es recurrente, que bien pudo ser causado por un error humano involuntario.

Esta pérdida de capacidad en la inyección continua de químicos genera, un aspecto negativo en la imagen, gestión y calidad del mantenimiento realizado por técnicos instrumentistas, ya que en muchas ocasiones se ven obligados a pasar a segundo plano los mantenimientos planificados y programados para la instrumentación de campo que es una de las competencias principales de la sección instrumentación de la superintendencia de mantenimiento de la empresa PETROAMAZONAS EP.

La falta de inyección de químicos o en cantidad insuficiente, provoca desviación en los

parámetros de calidad del producto procesado, variaciones en la condición operativa, esto hace necesaria la participación del personal de operaciones, incluido Ingeniería de Corrosión, para que analicen, evalúen, y según el diagnóstico se tomen los correctivos para control y regulación de la dosificación adecuada de químicos, de tal manera que el producto final se encuentre bajo especificaciones de calidad.

1.2 Formulación del problema

¿El análisis de la confiabilidad operacional permitirá determinar las acciones correspondientes, técnicas y herramientas adecuadas para garantizar la continuidad y efectividad en la inyección de químicos en cantidades requeridas y determinadas por el usuario o cliente de mantenimiento?

1.3 Sistematización del problema

¿Qué metodología propone, conoce o aplica el personal de mantenimiento para resolver este problema?

¿Conoce el personal de mantenimiento y el cliente interno de mantenimiento acerca del contexto operacional del sistema de inyección de químicos?

¿Conoce el personal de mantenimiento y el cliente interno de mantenimiento la capacidad inicial o confiabilidad inherente de las bombas de químicos?

¿Están definidas las funciones de los componentes o equipos que conforman el sistema de inyección de químicos?

¿Existe un registro adecuado de los eventos reportados y que provocan falla en el sistema de inyección de químicos?

¿Se ha determinado el stock óptimo de repuestos para enfrentar los diferentes estados de falla, de los sistemas de inyección de químicos?

1.4 Objetivos de la Investigación

El presente trabajo de investigación, se orienta a alcanzar los siguientes objetivos:

1.4.1 Objetivo General

Analizar la confiabilidad operacional en el sistema de inyección continua de químicos para los procesos de producción de petróleo en el Área Secoya del activo Libertador bloque 57 de PETROAMAZONAS EP”

1.4.2 Objetivos Específicos

- Socializar con personal de Mantenimiento y operaciones sobre los beneficios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
- Proponer un modelo estandarizado para registro de los eventos y requerimientos relacionados con fallas en el sistema de inyección de químicos.
- Proponer la implementación del plan de mantenimiento, para los sistemas de inyección de químicos en islas de producción según los criterios de la norma SAE JA 1011.
- Validar Trimestralmente la calidad de la información ingresada a Máximo Oil & gas en coordinación con ingeniería de gestión de activos y la Supervisión de Instrumentación
- Determinar el stock óptimo de repuestos en función de las estadísticas de fallos reportados y trabajos ejecutados por parte de mantenimiento.

1.5 Hipótesis

La determinación de Indicadores de clase mundial (MTBF, MTTR, Disponibilidad) mejora la Confiabilidad Operacional en el sistema de inyección de químicos de Secoya del Bloque 57 Libertador

Variable Independiente: Indicadores de clase mundial

Variable dependiente: Confiabilidad Operacional

1.6 Justificación de la Investigación

Para el desarrollo del trabajo de investigación se ha considerado las facilidades de la estación o planta de proceso y pozos productores de petróleo conocidos como Islas de Producción o WELPAD's de SECOYA, que es parte de activo Libertador denominado como Bloque 57

LI, está localizado en la región amazónica del Ecuador en la provincia de Sucumbíos, geográficamente se encuentra ubicado en línea recta con Quito entre las latitudes 00° 06 '00" N 00° 04' 00" S y longitudes 76° 33' 00" E Y 76°35'29.65" O. Ver figura # 1 y Figura # 2.

De acuerdo al inventario de equipos que actualmente están operando en la estación SECOYA del B57 activo Libertador de PETROAMAZONAS EP. Ver Figura 3, existen 25 bombas de inyección de químicos que están en la estación o planta de proceso y 49 bombas en islas de producción (pozos productores), estas bombas reciben la energía de movimiento mediante un acople mecánico proveniente de motores eléctricos cuyo voltaje de alimentación es de 110 y 480 VAC.



Figura 1-1: Ubicación de la Estación Secoya.

Fuente: <http://maps.google.com/mapfiles/kml/paddle/wht-blank.png>

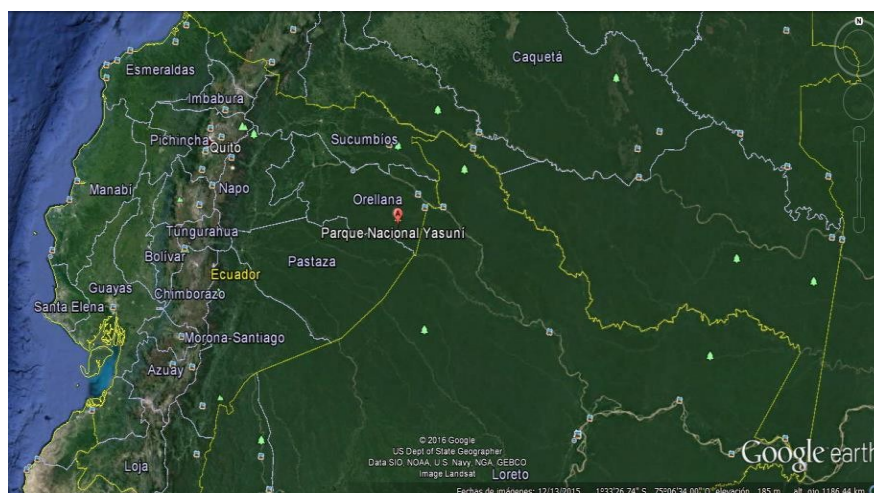


Figura 2-1: Ubicación Geográfica Provincia de Sucumbíos.

Fuente: Google Earth

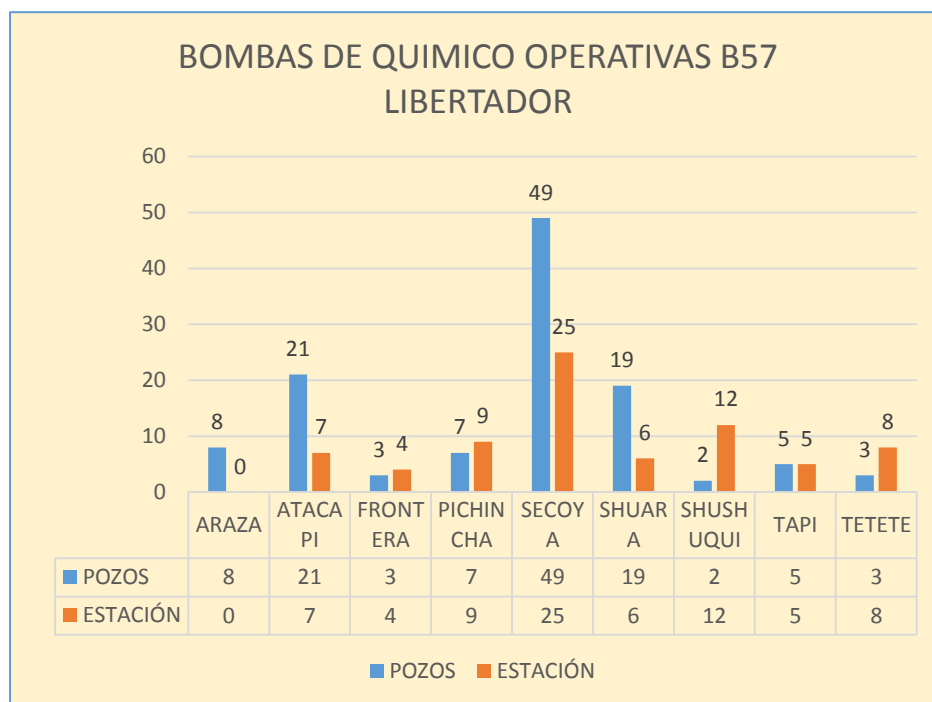


Figura 3-1: Distribución de bombas Activo Libertador. Incluye bombas de Secoya
Realizado por: Mancero Ernesto,2017

De las bombas para la inyección de químicos, la información es imprecisa sobre la fecha en que fueron instaladas, lo que se conoce con exactitud es que funcionan las 24 horas del día, los 365 días del año.

- Para el caso de las bombas de químico de la estación o planta de proceso existe un plan de mantenimiento preventivo trimestral que consta en la herramienta informática para la gestión del mantenimiento conocida como Máximo Oil & Gas.
- Para las bombas de inyección de químico instaladas y operando en los wellpads o islas de producción ubicadas en los pozos productores **no se tiene un plan de mantenimiento preventivo**, allí se detecta una debilidad y una oportunidad de mejora al sistema de inyección de químicos.
- No existe un estudio sobre la confiabilidad operacional de estos sistemas, lo cierto es que las fallas reportadas por personal de operaciones y corrosión es a diario, creando un malestar tanto en el cliente como en el grupo mantenedor, esto afecta la imagen y la calidad del servicio que presta el departamento de mantenimiento y consecuentemente las implicaciones al proceso por la inadecuada inyección del químico.

Por las razones anteriormente mencionadas, se justifica este tema de investigación cuyo propósito es realizar el análisis de la confiabilidad operacional en función de los criterios y recomendaciones

de las metodologías de la Ingeniería de la Fiabilidad, técnicas y herramientas que sean factibles de aplicación para mejorar la función del sistema de inyección de químicos.

El beneficio que se espera conseguir, siempre y cuando exista el compromiso y participación de personal de operaciones, es la búsqueda y determinación de las verdaderas causas que provocan la pérdida de la capacidad de inyección. Otro beneficio es mejorar la cultura de trabajo en equipo, desde los mandos de supervisión hasta el último de los trabajadores participantes de este proceso.

En la Figura 4 se puede observar la zona de influencia del Bloque 57 Libertador, incluido la estación Secoya y pozos productores.

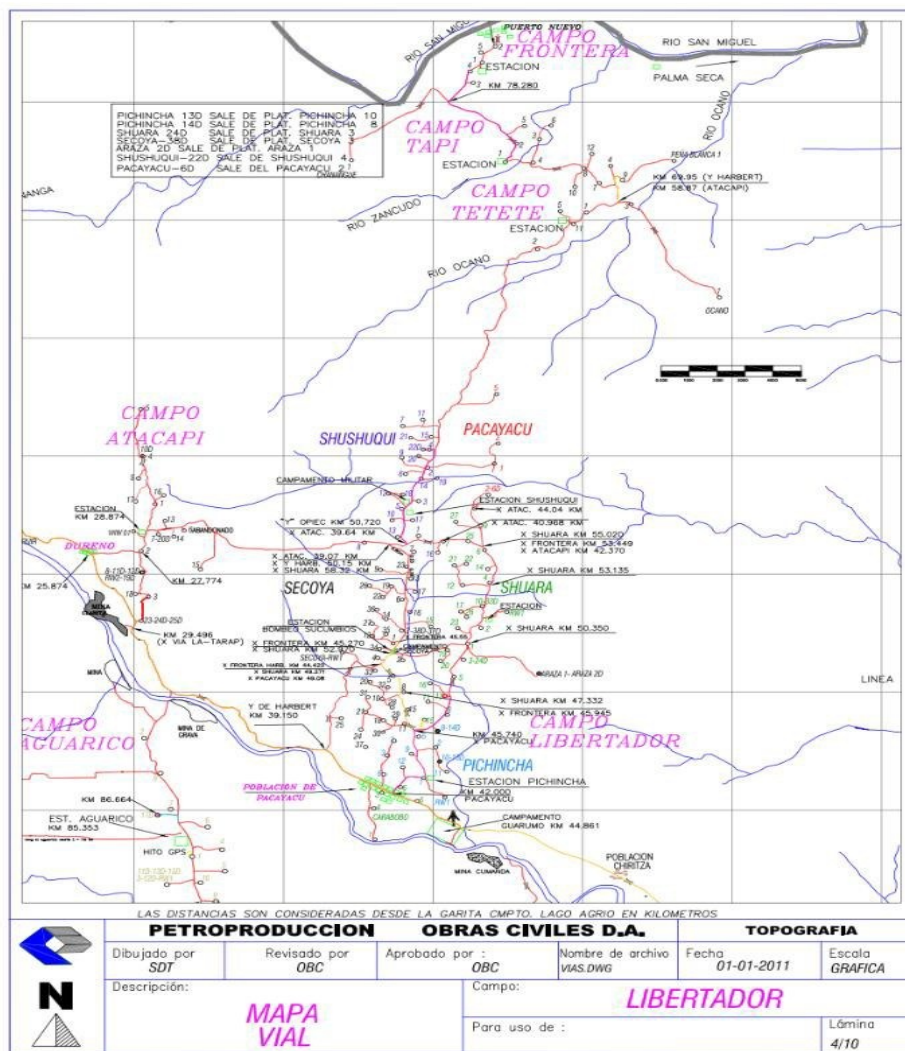


Figura 4-1: Mapa Vial
Fuente: SEIP (Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero)

CAPITULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco Teórico

2.1.1 *Importancia de la inyección de químico*

El sitio de inyección de la química varía de una instalación a otra y, depende de las características de los fluidos, la inyección de química se requiere: en el múltiple de producción (Manifold que es un conjunto de válvulas y tuberías), en los separadores de prueba y producción, en tuberías de entrada a tanques de almacenamiento de petróleo y bombas para transferencia de fluidos. Es muy importante la inyección del químico para la protección contra la corrosión de tuberías y equipos asociados. (www.supliequip.com)

2.1.2 *Sistemas de Inyección*

El arte de la Inyección Química es una tecnología compleja, independientemente del tipo de inyección o fluido inyectado, muchos factores relativos al sistema de Inyección deben ser considerados, los principales son: (www.supliequip.com)

2.1.3 *Tasa de Inyección*

Es la cantidad de químico que debe ser inyectado en un tiempo específico, puede estar definido en galones por día GPD. Los Sistemas de Inyección están disponibles para tasas que oscilan desde 0,5 hasta 160 GPD y depende de la bomba inyectora seleccionada. (www.supliequip.com)

2.1.4 *Temperatura*

La temperatura afecta directamente la viscosidad. Lo ideal sería que la temperatura tanto en la química inyectada y la del fluido de la línea sea de aproximadamente 70°F (21°C). (www.supliequip.com)

2.1.5 Gravedad Específica

La gravedad específica de un líquido es la razón de densidad del líquido del fluido, la rata de flujo es afectada por su gravedad específica, cuando la gravedad específica es baja. (www.supliequip.com)

2.1.6 Viscosidad

Es la medida de la resistencia del fluido al flujo. Mientras más viscoso es el fluido, más pequeño es el ángulo de dispersión. (www.supliequip.com)

2.1.7 Ángulo de Dispersión

El ángulo de dispersión es afectado por la viscosidad, la distancia del spray y el diferencial de la presión. (www.supliequip.com)

2.1.8 Punto de Inyección

La velocidad máxima del fluido está frecuentemente en el centro de la línea. Por lo mismo, la posición más efectiva para la inyección es generalmente en el centro de la tubería en la dirección del flujo del producto, esto significa que la inyección se hace perpendicular al flujo del producto. De acuerdo a datos proporcionados por Ingeniería de corrosión esquemáticamente, los puntos más comunes para la inyección de químicos están concentrados en:



Figura 1-2: Puntos de Inyección de Químicos
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

2.1.9 Descripción general de los químicos utilizados en el Bloque 57 Libertador

La fuente de información para la descripción general de los químicos, son los Boletines Técnicos de cada producto y proveedor y las hojas de seguridad, que se adjunta al menos un ejemplo en el ANEXO A, la información para cada químico, se encuentra en el campo. Actualmente en las operaciones del Bloque 57 Libertador contractualmente PETROAMAZONAS EP mantiene relaciones comerciales con las empresas proveedoras de químico tales como INTEROC, LIPESA y QUIMIPAC. Esto varía de acuerdo a las conveniencias de la empresa contratante.

2.1.10 Inhibidores de incrustación

Es un producto en base acuoso, de ácido fosfonato poliamino, totalmente compatible con las aguas de formación, controla incrustaciones de carbonato de calcio y sulfato de calcio. Es utilizado para prevenir las incrustaciones debido a su alto grado de inhibición sobre la formación de cristales de carbonatos y sulfatos; se puede utilizar en sistemas de inyección de agua y pozos productores.

2.1.11 Inhibidores de corrosión

Son materiales que, cuando están presentes en un sistema en cantidades relativamente pequeñas, reducen la pérdida del metal ya que atacan la corrosión. Estos inhibidores pueden interferir con la relación anódica y catódica formando una barrera protectora en la superficie del metal contra los agentes corrosivos.

2.1.12 Antiparafínicos

Es utilizado para tratamiento típico en Batch, a través del anular del pozo, en líneas de flujo y tuberías, para los fondos de tanques y problemas de interface. Es un químico cuya finalidad es inhibir parafinas. Es un químico soluble y de los condensados, altamente dispersante en agua dulce y la mayoría de salmueras producidas.

2.1.13 Coagulante

Se utiliza en procesos de clarificación de aguas en general. La dosis requerida depende de las características del agua a tratar y del sistema. Debe alimentarse PURO para conseguir máxima mezcla y dispersión. Para el sistema de alimentación de bombas, líneas y tanques son adecuados en polietileno, PVC, Vitón Placita, e Hypalo. **No use acero al carbono o inoxidable.**

El Departamento de Ingeniería de Corrosión del Bloque 57 Libertador de PETROAMAZONASEP, proporcionó los siguientes datos:

Sub proceso	Químicos utilizados								QT Y	
	Inhibidor de Incrustaciones	Inhibidor de Corrosión	DAC	Antiparafrínico	Surfactante	Biocida GTA	Biocida THPS	Coagulante		Floculante
Tratamiento de Pozos (SCY)	X	X								2
Tratamiento de Crudo (estación SYP)			X	X	X					3
Plantas de tratamiento para recuperación secundaria (Inyección PTA)	X	X			X	X	X	X	X	7
Reinyección de Agua (RYA)	X	X			X	X	X			5

Figura 2-2: Matriz general de químicos utilizados Secoya B57 LI

Fuente: Ingeniería de Corrosión Revisado Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

En la matriz anterior se especifica el Sub proceso de producción del petróleo, y el tipo de químico utilizado.

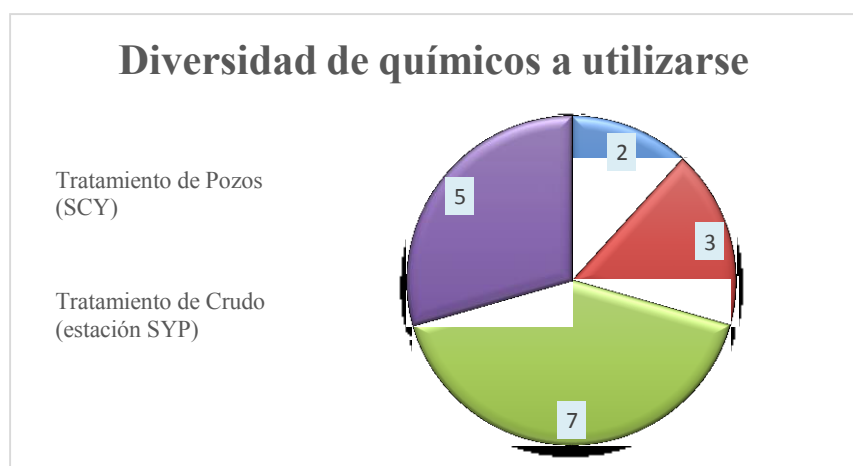


Figura 3-2: Diversidad de químicos utilizados Secoya B57 LI

Fuente: Ingeniería de Corrosión Revisado Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

El sub proceso que demanda o requiere diversos químicos para obtener los resultados deseados dentro de especificaciones y parámetros de calidad, es la Recuperación Secundaria de Crudo (Inyección de agua), en un total de 7, como puede observar en la matriz anterior se necesita: Inhibidores de incrustaciones, Inhibidores de corrosión, Surfactantes, dos tipos de Biocidas, y Coagulantes, seguido de la Reinyección de Agua con 5 químicos diferentes.

Luego está el subproceso de Tratamiento de Crudo (Actividades desarrolladas en la planta de proceso o estación de producción para el caso es la estación Secoya) y finalmente el sub proceso que menos demanda de químicos es el Tratamiento de Pozos, solamente se utiliza dos tipos de químico que son los inhibidores de incrustaciones e inhibidores de corrosión.

2.1.14 La bomba de inyección o alimentadora

Debe ser capaz de generar la presión de la línea de inyección suficiente para poder superar la presión operacional del sistema o proceso y así crear el diferencial de presión necesario a través del atomizador o el tubo de inyección. La bomba de inyección de químico inyecta al sistema a una razón predeterminada que debe ser proporcional a la producción del pozo. Las pruebas en frascos (botellas) ayudan a determinar cuál químico puede ser más efectivo para romper la emulsión de campo. Los resultados de esta prueba indican la menor cantidad de químico necesario para separar la mayor cantidad de agua de la emulsión W/O (water/oil).

2.1.15 Presiones que se manejan en la inyección de químico.

- Presiones en superficie de 0 – 120 PSI.
- Presión vía capilar fondo del pozo de 5 – 3000 PSI.
- Presión vía recirculación de 30 – 500 PSI.
- Presión cabeza del pozo de 5 – 1000 PSI.

2.1.16 Diferencial de Presión

Es la diferencia entre la presión de la bomba de inyección y la presión de la línea del proceso. Idealmente, el diferencial debería ser de 100 PSI (6,8 bar). Sin embargo, variadas ratas de inyección pueden ser alcanzadas cambiando el diferencial de la presión

2.1.17 Selección del Material

La selección del material es muy importante ya que estos productos químicos son bajos en PH, el único material resistente es el acero, tanto en bombas como en tubería capilares en diámetros 3/8” y 1/2” generalmente usados en los procesos de inyección de químicos, están diseñados para trabajar con altas presiones en los procesos.

2.1.18 *Válvula Check*

Son componentes que pueden ser adaptados tanto para los tubos de inyección como en la línea de entrada de la inyección y sirven para impedir el contraflujo.

2.1.19 *Válvula de Aislamiento*

Son válvulas de aguja requeridas para cortar el flujo de inyección. También son usados para controlar la tasa del flujo de inyección o de muestreo.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 *Tratamiento químico en las operaciones petroleras*

La participación de los Departamento de Corrosión y Mantenimiento del activo Libertador Bloque 57, es vital e importante a fin de garantizar la disponibilidad de los equipos que conforman el sistema de inyección continua de químicos.

El Ingeniero de Corrosión mediante análisis de laboratorio, determina las condiciones de petróleo, agua y gas que fluyen desde la formación, con estos resultados de los análisis de laboratorio, se evalúa la necesidad, dosificación y cantidad del químico requerido para corregir las desviaciones en los parámetros de eficiencia y calidad del producto que para nuestro caso es el petróleo.

La inyección continua de químicos, previene, preserva el estado o condición de tuberías y equipos en las operaciones de los pozos, procesos de deshidratación del petróleo y en el tratamiento o acondicionamiento del agua de formación para que en su momento sea inyectado en pozos re inyectores.

Al perforar los pozos, el agua de formación empieza a fluir junto con el petróleo hacia la superficie, cambiando sus condiciones de presión y temperatura. La variación en las condiciones de presión y temperatura (cada vez menores) con respecto a las condiciones de yacimiento se convierte en sobresaturada. Por esta razón los iones en solución forman las diferentes sales, las mismas que se precipitan en forma de incrustaciones adherentes a lo largo de la tubería y los demás equipos del proceso de producción en superficie.

Estas incrustaciones pueden ser de diferentes tipos, dependiendo de la composición físico químico del agua que se maneje, por tanto, los primeros problemas de sólidos son de

incrustaciones a lo largo de la tubería hasta la cabeza del pozo, el agua de formación casi siempre es de naturaleza corrosiva con tendencia a corroer el metal y los equipos en contacto con ella.

El agua producida a menudo esta sobresaturada de compuestos o sales incrustantes (principalmente de carbonatos de calcio), esto causa depósitos duros y muy difíciles de remover que afectan al flujo a través de tuberías.

En la Figura 8, se muestra la consecuencia de una inadecuada o falta de inyección de químico, ya sea por falta del químico o por avería de los equipos que conforman este sistema. Tuberías con reducción en su sección interior, provocando desviaciones en los parámetros operativos tales como aumento en presiones, menor flujo, mayor tiempo de operación de equipos y energía para la operación de bombas, acortando de esta manera su vida útil.

Por estas razones es importante que el departamento de Mantenimiento adopte métodos y políticas de mantenimiento que garanticen mantener las funciones principales y secundarias de los activos que forman parte del sistema de inyección de químicos.



Figura 4-2: Corte de Tuberías y efectos por la inyección inadecuada de químicos
Fuente: Departamento de Producción Secoya

2.2.2 ¿Qué es Confiabilidad Operacional?

(Durán, 2000), la confiabilidad operacional es muy amplia por lo que se trata de inducir al lector sobre los aspectos del Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional (MCO), con las siguientes reflexiones:

- Piense durante un minuto en hechos relacionados con baja confiabilidad y haga una lista.

- Lea su lista y durante tres minutos trate de hallar una persona en su empresa que no esté relacionada al menos con uno de los problemas relacionados a baja confiabilidad.
- Durante un minuto enumere a quienes beneficiaría un plan de Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional (CO)
- Sigue usted seguro de que Confiabilidad Operacional es asunto de Mantenimiento?

Hechos relativos a baja confiabilidad en los sistemas de inyección de químicos:

- Fallas
- Pérdidas
- Reparaciones de emergencia
- Estrés
- Descontento gerencial
- Problemas ambientales
- Repuestos de emergencia
- Mal mantenimiento
- Mala operación
- Baja producción
- Suciedad en los químicos
- Mezcla de químicos
- Alta rotación del personal
- Salarios bajos
- Falta de adiestramiento
- Procesos de compra inapropiados
- Compras retardadas
- Falta de procedimientos
- etc.

Todos los adjetivos anteriores son indicadores de oportunidad de mejora de alto valor. Pregunta.

¿A quiénes no involucra los hechos anteriores?

Respuesta: Involucra a todos, desde la gerencia hasta todos los niveles organizativos. Pregunta.

¿A quiénes beneficiaría un plan de Mejoramiento en CO?

Respuesta: A todos

¿Sigue usted convencido de que Confiabilidad Operacional es asunto de Mantenimiento?

Definitivamente NO.

Por ahora estamos claros de lo que significa Confiabilidad Operacional y a quienes compete. Las

empresas que insisten en confiar la Confiabilidad Operacional al departamento de Mantenimiento simplemente están dejando de lado una serie de aspectos que podrían mejorar su productividad. Por otra parte, quienes aceptan ésta, como un tema colectivo y tratan de mejorar de una manera continua tienen una serie de ventajas competitivas sobre los anteriores. (Durán, 2000)

2.2.2.1 ¿Qué significa Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional?

Se considera importante, indicar que en un sistema de Confiabilidad Operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: Confiabilidad Humana, Confiabilidad en Proceso, Confiabilidad y Mantenibilidad de equipos; sobre los cuales se debe actuar si se desea lograr un mejoramiento continuo y de largo plazo.

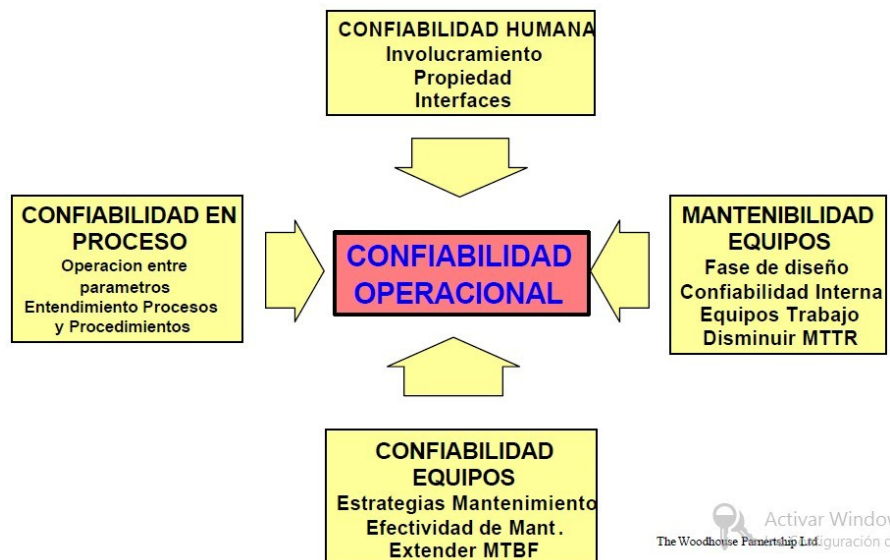


Figura 5-2: Las Cuatro Vertientes que determinan la Confiabilidad de un Activo
Fuente: (Durán, 2000)

(The Woodhouse Partnership Ltd, Venezuela Pag. 7, 2000), Hechos aislados de mejora en frentes de Confiabilidad Operacional genera beneficios, pero si no se toman en cuenta otros aspectos es probable que estos sean limitados en la organización y sean solo el resultado de un proyecto, mas no de la transformación deseada.

Así en el mundo occidental entre producción, mantenimiento, recursos humanos, ingeniería, existen muchas fronteras, estos aspectos aíslan los proyectos de mejoramiento y todo el tiempo chocan con la necesidad de que los demás departamentos colaboren y es donde sale a flote los límites de los proyectos de mejoramiento continuo.

En algunas empresas empieza aparecer un mejor ambiente, con equipos de trabajo, que involucra

desde mantenimiento hasta ingeniería y desde despacho hasta compras, donde los problemas son llevados como oportunidades de mejora y que su impacto en el negocio sea en función de resultados y no en función de jerarquías, el adiestramiento está en función a las necesidades de la empresa y no a deseos particulares, cada quien acepta sus responsabilidades sobre la productividad.

Esto significa soporte gerencial de alto nivel y convencimiento de que no es una tarea fácil ni a corto plazo, donde se debe hacer una inversión en adiestramiento, tiempo, dinero y recursos y donde los resultados superan con creces las predicciones. (Durán, 2000, pág. 7)

2.2.2.2 ¿Qué es el Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional?

(Durán, 2000), lo que se logra con el mejoramiento de la confiabilidad operacional es Productividad Mejorada, a la medida para organizaciones que necesitan la excelencia empresarial y su gestión de activos físicos. Es un proceso de mejoramiento continuo basado en hechos, alcanzado por una armonía de implantación de herramientas y técnicas basadas en riesgo.

(Durán, 2000) Un programa de Confiabilidad Operacional brinda soluciones técnicas, pensamiento estructurado, trabajadores motivados y desarrollo organizacional. Momento de comenzar un programa de Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional, es cuando en su empresa haya detectado algo de los siguientes aspectos:

- La dirección de la compañía cambia constantemente, debido a rotación gerencial
- El enfoque está en costos y no en valores
- El mantenimiento es considerado “Un mal necesario y costoso”
- El mantenimiento es considerado “Un mal necesario”.
- Las comunicaciones son demasiadas, muy pocas o sin enfoque
- No hay un programa de mejoramiento que cubra toda la compañía.

2.2.2.3 Resultados de un plan de Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional

(Durán, 2000), la Confiabilidad Operacional, no es una fórmula mágica para triunfar, está enfocada y encaminada a la remoción de las causas de fallas y los actores de baja confiabilidad que puede afectar la rentabilidad de una organización. La fuerza de trabajo es la que asegura el éxito y es quien enfrenta los problemas, pero sin el compromiso y el involucramiento de la gerencia, esto no logrará los objetivos.

2.2.3 *Análisis de Criticidad de Equipos*

Para este análisis se toma como medio de consulta y apoyo, el documento o procedimiento de Jerarquización de Sistemas y Unidades, elaborado por un grupo de Ingenieros de PETROAMAZONAS EP con la aprobación de la Gerencia de Mantenimiento.

El alcance de este procedimiento aplica a los ítems mantenibles correspondientes a los niveles taxonómicos 5, 6,7 y 8 de la Norma ISO 14224: 2006.

Como referencias bibliográficas para la elaboración de este procedimiento se indica las normas: NTC5254 Gestión del Riesgo y NORZOK Z2008. Criticality Analysis for Maintenance Purposes.

2.2.4 *¿Qué son los Diagramas de Pareto?*

Los problemas de calidad se presentan como pérdidas (productos defectuosos y su costo). Es muy importante aclarar el patrón de la distribución de la pérdida. La mayoría de las pérdidas se deberán a unos pocos tipos de defectos, y estos defectos pueden atribuirse a un número muy pequeño de causas. Si se identifica las causas de estos pocos defectos vitales, podremos eliminar casi todas las pérdidas, concentrándonos en esas causas particulares y dejando de lado por el momento otros muchos defectos triviales. El uso del Diagrama de Pareto permite solucionar este tipo de problemas con eficiencia.

2.2.4.1 *Diagrama de Pareto de Fenómenos*

Es un diagrama en el cual se relacionan los resultados indeseables y se utiliza para averiguar cuál es el principal problema, estos resultados indeseables se mencionan a continuación.

- Calidad: Defectos, faltas, fracasos, quejas, ítems devueltos, reparaciones.
- Costo: Magnitud de las pérdidas, gastos.
- Entrega: Escasez de inventarios, demoras en los pagos, demoras en la entrega.
- Seguridad: Accidentes, errores, interrupciones.

2.2.4.2 *Diagrama de Pareto de Causas*

Es un diagrama en el cual se relacionan los resultados indeseables y se utiliza para averiguar cuál es el principal problema, estos resultados indeseables se mencionan a continuación.

- Operario: Turno, grupo, edad, experiencia, destreza
- Máquina: Máquinas, equipos, herramientas, organizaciones, modelos, instrumentos.
- Materia prima: Productor, planta, lote, clase.
- Método operacional: Condiciones, órdenes, disposiciones, métodos.

2.2.5 Introducción al RCM

De la referencia tomada de (WWW.GICAINGENIEROS.COM, s.f.). El RCM alcanzó un éxito en la industria aeronáutica, 16 años después de ser implementado.

El RCM ha tenido éxito en varias industrias, incluida la aeronáutica, la minera, de a poco se está adaptando al campo industrial y de manera particular en la industria del petróleo y gas, los resultados que se esperan en la industria petrolera es llegar a mejorar los índices de disponibilidad de sus activos, que se traducirán en la optimización de los costos de operación y mantenimiento.

La administración de activos juega un papel importante de tal manera que el RCM como estrategia de mantenimiento motivó a la American Society Engineers a publicar la norma SAE JA1011: “Criterio de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)”

2.2.5.1 Aspectos teóricos básicos del RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y su filosofía como criterio general, es el mantenimiento prioritario de los componentes críticos para su correcto funcionamiento de los equipos e instalaciones, dejando operar a los componentes no críticos hasta su fallo, instante en que se aplicaría el mantenimiento correctivo.

2.2.5.2 Metodología RCM para sistemas de inyección continua de químicos

Metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado para el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el análisis de fallos en el sistema de inyección de químicos, en la planta de procesos y pozos de Secoya.

(RELIABILITYWEB, s.f.). El mundo del mantenimiento es un mundo cambiante, como resultado de nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipo y nuevas técnicas. (SOPORTE & CIA LTDA., s.f.), La revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos

en funcionamiento. Actualmente los requerimientos de mantenibilidad han cambiado, por lo tanto, también cambian las políticas de mantenimiento y consecuentemente las tareas que deben ejecutarse, por lo que el ingeniero tiene la responsabilidad de evaluarlas y ser cuidadoso de no llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

(SOPORTE & CIA LTDA., s.f.), La aplicación de RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

El RCM pone énfasis en las consecuencias de las fallas y en las características técnicas de las mismas, lo hace de la siguiente manera:

- Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto permite que cuando se tomen decisiones en materia de mantenimiento se tome en cuenta estos aspectos. (SOPORTE & CIA LTDA., s.f.)
- Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que aquellos recursos económicos invertidos en mantenimiento se gasten donde más beneficio va a generar. (SOPORTE & CIA LTDA., s.f.)

El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. Esto permite asegurarse de que los correctivos para cada equipo sean los más adecuados, evitando dolores de cabeza y problemas que siguen a la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa. (SOPORTE & CIA LTDA., s.f.)

El RCM, le brinda confianza al trabajador, mejora su estado de ánimo y consecuentemente su efectividad, es una forma efectiva para planes de mantenimiento en equipos y para los que no dispongan de información, el RCM tiene como fortaleza que su lenguaje técnico es fácil de entender, esto le permite al personal técnico saber qué pueden y qué no pueden esperar de esta aplicación.

Una revisión RCM de los requerimientos de mantenimiento para cada uno de los equipos existentes y que opera en las instalaciones, permite tener una base firme para establecer políticas de trabajo, y decidir qué repuestos se deben incluir en el inventario.

A pesar de ser nuevo en la industria en general, el RCM se está aplicando hace aproximadamente 30 años, en la que es probablemente el área más exigente del mantenimiento, la aviación civil. Se deduce que ha sido puesto a prueba y refinado en este campo, más que ninguna otra técnica existente. (SOPORTE & CIA LTDA., s.f.)

2.2.5.3 Implantación del proceso RCM

(RELIABILITYWEB, s.f.) RCM, Es un proceso usado para decidir que un activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios esperan de este activo. Cuando, el proceso RCM también define lo que los usuarios quieren en términos de riesgo (seguridad e integridad ambiental), calidad (precisión, exactitud, consistencia, estabilidad), control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente, entre otros.

El RCM permite identificar las formas que el sistema puede fallar y dejar de cumplir su función (estados de falla), seguido por un análisis de los modos de falla y sus efectos, para todos los eventos probables y causas de cada estado de falla.

El RCM identifica una política del manejo de fallas apropiada para tratar cada modo de falla, sus consecuencias y características.

La política del manejo de fallas incluye las siguientes opciones:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- La búsqueda de fallas
- Cambio del diseño o configuración del sistema
- Cambio del contexto operacional, que es la forma como es operado el sistema
- Operarlo hasta que falle el activo

Con la implementación del RCM como proceso incluye normas de decisión si cualquier política de manejo de fallas es apropiada y técnica, además que suministra criterios de decisión para que se realicen tareas de rutina.

2.2.5.4 Fase inicial del Proceso de Implantación del RCM

Equipo natural de trabajo:

Conformado por un grupo multidisciplinario, por la naturaleza de las actividades se considera como actores a:

- Ingeniero de Corrosión. Coordina la realización de análisis de laboratorio, para determinar las condiciones de petróleo, agua y gas que fluyen desde el fondo del pozo o formación, hasta las facilidades y equipos en superficie, con estos resultados evalúa la necesidad, dosificación y cantidad del químico requerido para corregir las desviaciones en los parámetros de eficiencia y calidad del producto que para nuestro caso es el petróleo, sin dejar de lado la importancia del agua de formación y su tratamiento para su posterior disposición o re inyección.
- Supervisor de Instrumentación (Mantenimiento). Responsable de la recepción de requerimientos para intervención en los sistemas de inyección de químicos, designará él o los técnicos para revisión y/o corrección en la desviación o no conformidad del activo, además gestionará la adquisición de materiales y repuestos necesarios tanto para mantenimientos programados y no programados, así como también proporcionará las facilidades y logística a los técnicos de mantenimiento para que sus actividades se desarrollen con normalidad. Deberá llevar un registro e histórico de eventos en los sistemas de inyección de químicos y coordinará con el Ingeniero de Gestión de activos para determinar los índices de Disponibilidad, Mantenibilidad y Confiabilidad de cada uno de los activos o bombas para inyección.
- Ingeniero de Gestión de Activos. Recomendará a la Supervisión de instrumentación tomar acción cuando los indicadores estén fuera de control
- Supervisor eléctrico (Mantenimiento). Brinda su apoyo para revisiones y/o reparaciones cuando presenten fallo el sistema de abastecimiento de energía eléctrica así como también se encargará de instalaciones nuevas (motor, tableros de control).
- Técnicos de Corrosión (Contratistas). Coordinar actividades diarias, directamente con el Ingeniero de Corrosión, verificar stock de químicos en bodega de materiales y stock de químico en sitio, verifica, compara y corrige la dosificación adecuada, así como también reportará novedades encontradas en el sistema de inyección de químico. Además, deberá recolectar muestras del producto para su posterior análisis de laboratorio y

emitirá los reportes correspondientes.

- Técnico de Mantenimiento. Asistirá y brindará apoyo técnico cuando se requieran instalar nuevas bombas de inyección, también verificará mensualmente el stock físico en las bodegas de PETROAMAZONAS EP, para lo cual la coordinación de materiales proporcionará impreso un listado del stock de los materiales y repuestos para bombas de químico, deberá informar a la supervisión de instrumentación que materiales no han tenido rotación en el lapso de seis meses a fin de justificar o analizar su posible utilización sea en el Bloque 57 o en cualquier bloque de Petroamazonas.
- Supervisor de operaciones Islas/Estación. Reportará y coordinará con el supervisor de Instrumentación novedades que, durante el tiempo de operación, de los sistemas de inyección de químicos para su atención en función de prioridades y consecuencias al proceso.
- Técnico de operaciones Islas/Estación. Realiza el recorrido mediante rutas establecidas, verificando parámetros de operación, incluye revisión de las bombas de inyección de químicos, y de existir novedades tiene la obligación de reportar a su jefe inmediato con conocimiento al personal de mantenimiento y se evaluará la urgencia para atención del requerimiento.
- Coordinador de Materiales. Proporcionará el listado del stock de los repuestos y materiales específicamente para los sistemas de inyección de químicos. Brindará las facilidades para que se realice la verificación física y registro fotográfico en el evento de que sea nuevo material.

2.2.5.5 Fase de implantación del RCM

Sistema seleccionado: Proceso de Inyección Continua de Químicos

Este sistema dentro del proceso de extracción y producción de petróleo, se aplica tanto en las plantas de proceso como en las islas de producción en todos los campos operados por PETROAMAZONAS EP.

Tabla 1-2: Cantidad de Bombas de Químico Bloque 57 Libertador

BOMBAS DE QUÍMICO OPERATIVAS EN EL B57 LI		
Locación	Pozos Productores o Islas de Producción	Planta de Proceso o Estación Central
Arazá	8	-
Atacapi	21	7
Frontera	3	4
Pichincha	7	9
Secoya	49	25
Shuara	19	6
Shushuqui	2	12
Tapi	5	5
Tetete	3	8

Fuente: Sistema de Gestión de Mantenimiento Máximo Oil & Gas

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

- El sistema seleccionado es el sistema o proceso de inyección continua de químicos en las facilidades de Secoya, distribuidas de acuerdo a la Tabla 1; se encuentran operativas 49 bombas en pozos y 25 bombas en estación. Estas bombas son del tipo desplazamiento positivo, alternativas de pistón (plunger) de tamaño desde ¼” hasta ½” con una capacidad de inyección 0.5 Galones por día (GPD) hasta 80 GPD con una sola cabeza de inyección, y esta capacidad se duplica si existe dos cabezas de inyección en una misma bomba, estas bombas están acopladas a un motor eléctrico de ¼ a ½ HP de potencia con voltajes de 110 a 480 V AC.
- Al sistema se incorpora tanques de almacenamiento conocidos como bulk tanks, son los recipientes que almacenan el químico a ser inyectado de acuerdo a las necesidades operativas. Los medios que conducen estos químicos son ductos de acero inoxidable SS-316 0 SS-304 y demás accesorios utilizados como medios de unión entre bulk tank, bombas y puntos de inyección.

2.2.6 Determinación de las funciones y estándares

2.2.6.1 Función primaria

Para definir la función primaria de un sistema de inyección de químico una vez que se conoce el sub proceso y el químico que se ha de inyectar, producto de los resultados que se han obtenido en los ensayos de laboratorio y, en base a las recomendaciones y lineamientos de las normas de referencia que son aplicables, entonces podemos dar una estructura a estas funciones, las cuales deben estar formadas por un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario, a manera de ejemplo literalmente mencionamos la función primaria de un sistema:

Inyectar 30 gpd de químico anticorrosivo en la línea de recirculación del pozo Secoya 17 y que sea capaz de romper una presión de 250 psig

Donde:

El Verbo es: Inyectar

Objeto: Químico Anticorrosivo

Estándar de funcionamiento deseado: 30 galones por día (gpd), en la línea de recirculación del pozo Secoya 17 y que sea capaz de romper una presión de 250 psig.

Para el caso de estudio e investigación la función primaria para los sistemas de inyección de químicos, el verbo sería igual en todos los casos (inyectar), lo que cambia es el objeto, porque existe una diversidad de químicos que son necesarios dentro del proceso y a condiciones diferentes de operación. Entre la lista de químicos utilizados se menciona; anti escala, anti corrosivo, demulsificante, anti espumante y otros más.

Las operaciones exigen que su estándar de funcionamiento esté en función a los requerimientos y resultados de laboratorios donde se determina las características físicas y comportamiento de los fluidos gas, crudo, agua.

2.2.7 Fallas Funcionales, identificación de los modos y efectos y consecuencias de falla mediante la utilización de técnicas de Análisis de modos, efectos de falla y criticidad, (AMFEC).

2.2.7.1 Fallas funcionales

Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable por el usuario. (Moubray, 2004, pág. 49)

Otra definición de fallas funcionales dice que son ocurrencias que producen la incapacidad del activo de cumplir con una función dada a un nivel de rendimiento que sea aceptable para el usuario.

Aspectos de las fallas funcionales:

- **Falla total y parcial:** La definición de una falla funcional, cubre la pérdida total de la función. También abarca situaciones en las que aún funciona, pero fuera de los límites admisibles. Por ejemplo, la función primaria de una bomba de químico se puede definir como “inyectar químico anticorrosivo en la línea de recirculación 30 gpd y que sea capaz de romper la presión de 250 psig en su punto de inyección”.

Esta función podría sufrir dos fallas funcionales:

- No inyectar nada de químico anticorrosivo ó
- Inyectar químico a menos de 30 gpd y no ser capaz de romper la presión de proceso de 250 psig en el punto de inyección.

Si la capacidad del activo se deteriora lo suficiente como para caer debajo del funcionamiento deseado, sus usuarios considerarán que falló.

- **Límites superiores e inferiores:** Cuando se definen estándares de funcionamiento asociados a algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Dichos límites indican que el activo físico ha fallado si produce productos que están por arriba del límite superior, o por debajo del inferior. En estos casos la brecha del límite superior por lo general necesita identificarse por separado de la brecha del límite inferior. Esto se debe a que los modos de falla y/o las consecuencias asociadas por exceder el límite superior suelen ser diferentes de las asociadas por no alcanzar el límite inferior
- **Instrumentos de medición e indicadores:** Los límites superior e inferior también se aplican a los estándares de funcionamiento de medidores, indicadores, sistemas de control y protección.

Dependiendo del modo de falla y sus consecuencias, también podría ser necesario tratar sus límites por separado, en el momento en que se listan las fallas funcionales, por ejemplo, la función de un sensor de temperatura puede enunciarse como “mostrar la temperatura del proceso X dentro del (digamos) 2% de la temperatura real del proceso”. Este medidor puede sufrir tres fallas funcionales distintas:

- Incapaz de mostrar la temperatura del proceso

- Muestra una temperatura más de 2% más alta que la temperatura real del proceso
 - Muestra una temperatura más de 2% más baja que la temperatura real del proceso.
- **El contexto operacional:** La definición exacta de falla para cualquier activo físico depende de gran parte de su contexto operacional. Esto significa que de la misma manera que no debemos generalizar acerca de funciones de activos idénticos, también se debe tener cuidado en no generalizar acerca de sus fallas funcionales.

Por ejemplo, una bomba de inyección falla si es incapaz de inyectar el químico, así como también si no es capaz de inyectar o cumplir el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario por ejemplo 30 gpd. Si la misma bomba se puede utilizar para inyectar 40 gpd. Entonces el segundo estado de falla ocurrirá si su capacidad cae por debajo de los 40 gpd.

2.2.7.2 Identificar modos de falla.

(HORDAGO), Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (sistema o proceso). Es vago y simplista aplicar el término “falla” a un activo físico de manera general. Es mucho más preciso distinguir entre una “falla funcional” (un estado de falla) y un “modo de falla” (un evento que puede causar un estado de falla). Esta distinción lleva a una definición más precisa de un modo de falla, como ser: Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.

Un modo de fallo puede estar originado por una o más causas. Éstas, pueden ser independientes entre sí, tales como la A o la B, de la Figura N° 10. También pueden combinarse entre ellas, es decir, que el modo de fallo está condicionado a que se presenten ambas, como por ejemplo, C y D. Y por último, puede que las causas estén encadenadas como la E y F, es decir, la E no se presentará si no aparece antes de F. (HORDAGO, pág. 8)

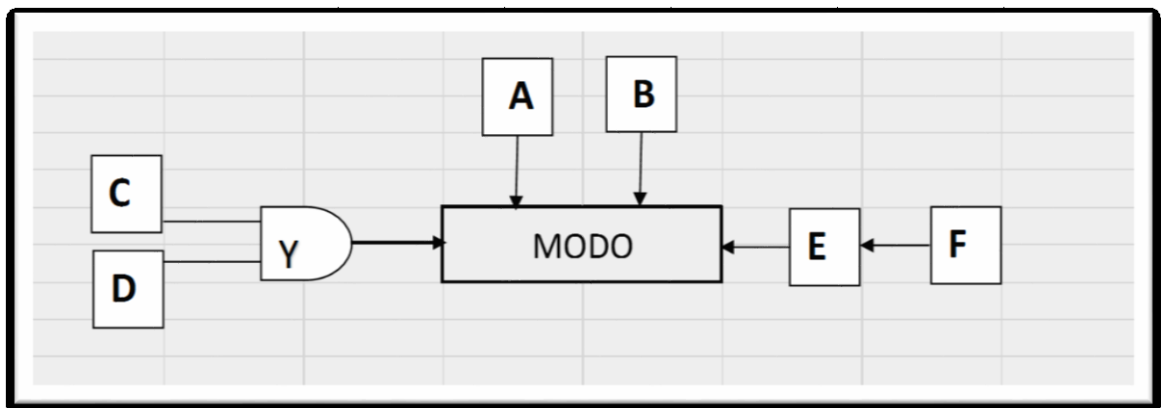


Figura 6-2: Causa de un Modo de Falla
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

(HORDAGO), las causas pueden ser confundidas con los modos de fallo o los efectos. Por ejemplo, una vibración en un elemento mecánico puede provocarle fatiga, y ésta a su vez producir la rotura, que será detectada por el cliente como ruido. La fatiga se puede considerar como una causa secundaria o como un modo de fallo. Estos hechos se pueden representar de la manera que se indica:

Vibración -> Fatiga -> Rotura -> Ruido

Si siempre que se produce la fatiga se origina ruido (efecto), entonces sería modo de fallo. En cambio, si no siempre que aparece la fatiga se produce ruido, ésta sería causa.

2.2.7.3 Efectos y consecuencias de falla.

Describen lo que sucede cuando ocurre un modo de fallo. Es importante no confundir efectos con consecuencias. Los efectos responden a la pregunta ¿Qué sucede?, mientras que la consecuencia responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

Aspectos a considerar (Efectos del fallo)

2.2.7.4 Evidencia del Fallo

La descripción debe indicar si la falla hace que se enciendan alarmas luminosas o de sonido (o ambas), y si el aviso se produce en el panel local o en la sala de control (o ambos). Así mismo la descripción debe indicar si la falla va acompañada o precedida por efectos físicos obvios, tales como ruidos fuertes, incendio, humo, fugas de vapor, olores extraños o manchas de líquido en el suelo. También debe indicar si la máquina queda fuera de servicio como consecuencia de la falla.

2.2.7.5 Riesgos para el medio ambiente

Si existe una posibilidad de que alguien se lesione o muera como consecuencia directa de una falla, o que se infrinja una normativa o reglamento del medio ambiente, la redacción del efecto de la falla debe explicar cómo esto podría ocurrir. Algunos ejemplos incluyen:

- Incremento el riesgo de incendio o explosiones.
- El escape de productos químicos peligrosos (gases, líquidos o sólidos).
- Electrocutación.

- Explosiones o estallidos (especialmente recipientes presurizados y sistemas hidráulicos).
- Crecimiento bacteriano.

Al hacer la lista de estos efectos no nos estamos refiriendo solamente a posibles amenazas para nuestro personal (operadores y personal de mantenimiento), sino que también nos referimos a las amenazas sobre la seguridad de nuestros consumidores y de la comunidad en su conjunto. Esto puede requerir que el grupo que hace el análisis realice una investigación sobre las normas de seguridad y medio ambiente que gobiernan el proceso que se está estudiando.

2.2.7.6 Afectaciones a la producción y/o la operación

Si el fallo provoca afectaciones a la operación, es más importante registrar el tiempo de parada que el tiempo medio para la reparación (MTTR) ya que:

- Si se emplea el término “tiempo de reparación” en lugar del “tiempo de parada”, se puede afectar la posterior evaluación de las consecuencias operacionales del fallo.
- La evaluación de las consecuencias debe realizarse para el “peor caso” y no para el “caso promedio”

2.2.7.7 Efectos sobre la capacidad operacional

Debe registrarse cualquier forma en que el fallo afecte significativamente la capacidad operacional del activo. Posibles situaciones:

- Si se afecta la calidad del producto o del servicio al cliente y si ocasiona alguna penalización financiera.
- Si algún otro equipo o actividad se detiene o se ralentiza.
- Si el fallo ocasiona incrementos en los costos totales de operación, además de los costos directos de reparación
- Si el fallo ocasiona algún daño secundario.

2.2.7.8 Acciones correctivas

Al describir los efectos del fallo, también debe incluirse la acción a realizar y los tiempos de parada necesarios; Ejemplos:

- Tiempo de parada para cambiar rodamientos del motor eléctrico: alrededor de 2 horas.

- Tiempo de parada para despejar la obstrucción de las tuberías tanto de succión y descarga de la bomba de químico: alrededor de 30 minutos.
- Tiempo de paradas para cambiar packing y plunger en una bomba de inyección de químico: alrededor de 4 horas.

2.2.7.9 El nivel de análisis

Es esencial comprender que:

- El análisis efectuado a un nivel demasiado alto (muy pocos detalles) puede ser en extremo superficial.
- El análisis efectuado a un nivel demasiado bajo (muchos detalles) puede tornarse poco maniobrable e incomprensible.

2.2.7.10 Aplicación de la lógica RCM

Dada la dificultad manifiesta de evaluar si una tarea es apropiada para atender determinado modo de fallo, se ha elaborado un diagrama que contribuye a tomar decisiones durante la importante etapa de evaluación, selección y proposición de tareas. El equipo natural de trabajo encontrará valiosa ayuda sirviéndose de diagramas para selección de tareas y actividades.

A continuación, algunas notas relacionadas con el diagrama de selección de tareas que hará posible una mejor comprensión y facilitará la potenciación de su uso eficaz.

- El diagrama de evaluación de tareas va exponiendo lógicamente para cada tipo de tareas, los requisitos que deben cumplirse para considerar que la tarea es apropiada según los criterios de factibilidad técnica y sostenibilidad.
- El diagrama de evaluación de tareas considera tanto tareas para atender fallos ocultos como evidentes, según los criterios establecidos en SAE JA 1011: 1999
- En el caso de fallos ocultos (H), el diagrama de evaluación de tarea considera los requisitos para la selección de tareas predictivas (1-H), preventivas (2-H), búsqueda de fallos (3-H), modificaciones (4-H/1) y trabajo hasta el fallo (4-H/2).
- En el caso de fallos evidentes (E), el diagrama de evaluación de tareas considera los requisitos para la selección de tareas predictivas (1-E), preventivas (2-E), modificaciones (3- E/1) y trabajo hasta el fallo (3-E/2).

- Siempre que se encuentre en el diagrama una H dentro de un círculo y un camino en líneas discontinuas se está indicando que únicamente se sigue ese camino en caso de estar trabajando un fallo oculto (H).
- Una tarea no apropiada, será aquella que no pueda cumplir con los criterios de factibilidad técnica o sostenibilidad establecidos para ella. Por tanto una tarea apropiada tendrá que cumplir con todos los requisitos de ambos criterios.
- El diagrama de evaluación de tareas constituye una alternativa para la determinación y caracterización de las posibles tareas a identificar para atender diferentes modos de fallos fundamentales de un sistema, subsistema o activo según los criterios normados. Permite la evaluación y caracterización de cualquier tarea para combatir un modo de fallo y sus consecuencias.
- El diagrama de evaluación de tareas contribuye a responder las preguntas 6 y 7 de un proceso RCM: 6-¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada fallo? Y 7-¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada?

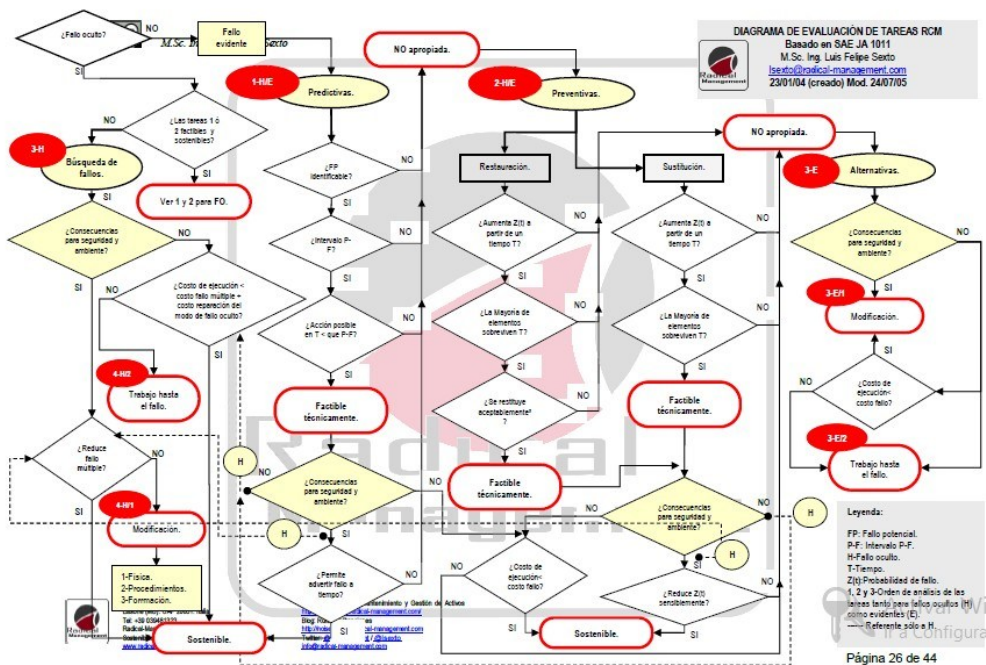


Figura 7-2: Diagrama de Evaluación de Tareas RCM
 Fuente: RCM_Booklet_SEXTO_v.2014

2.2.8 Tasa de fallos

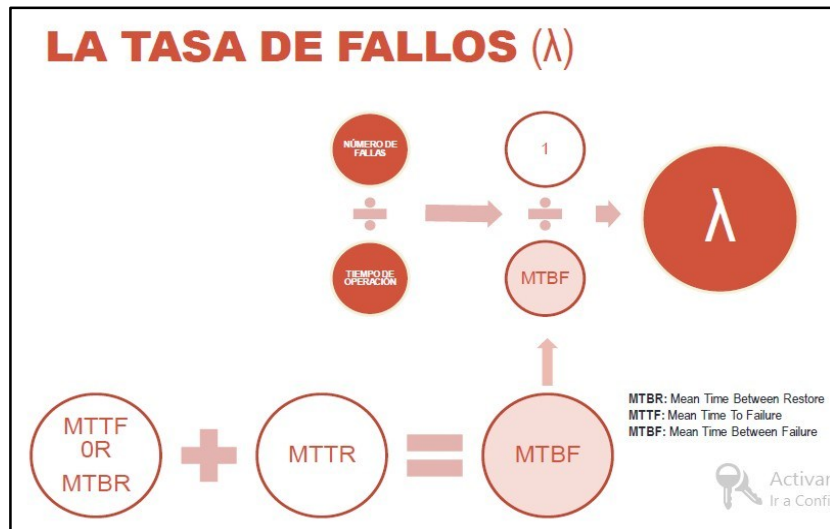


Figura 8-2: Representación de la tasa de fallos

Fuente: Sexto, L. F. (s.f.). Ingeniería de la Fiabilidad. 29-30.

(Sexto, Ingeniería de la Fiabilidad) $\lambda(t)$, es la función de distribución de probabilidad (condicional) de un elemento que ha funcionado bien hasta el instante t , y falla en el tiempo comprendido entre t y $t+dt$.

Por lo tanto, es necesario distinguir claramente estos tres períodos:

A: Periodo de Mortalidad Infantil

- Fallos de rodaje, ajuste o montaje
- La tasa de fallos es decreciente
- Propio de componentes de Tecnología Mecánica.
-

B: Periodo de Fallos por azar (o aleatorios)

- Tasa de fallos constante
- Propio de materiales de Tecnología eléctrica/electrónica.

C: Periodo de Fallos por Desgaste o Vejez

- Tasa de fallos creciente
- Propio de materiales de Tecnología mecánica o electromecánica (desgaste progresivo).

2.2.8.1 Tiempo medio entre fallos MTBF

(Análisis de Fiabilidad de Equipos) El tiempo medio entre fallos (MTBF) como medida de la Fiabilidad:

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF^i}{n} \text{ [días]} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

2.2.8.2 Tiempo medio para reparación MTTR

(Análisis de Fiabilidad de Equipos), el tiempo medio de reparación (MTTR) como medida de la Mantenibilidad:

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR^i}{n} \text{ [días]} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

2.2.9 Disponibilidad

(Análisis de Fiabilidad de Equipos), es la probabilidad de desarrollar la función requerida, se refiere a la probabilidad de que no haya tenido fallos en el tiempo t , y que en caso de que los tenga, sea reparada en un tiempo menor al máximo permitido. Es función, por tanto, de la fiabilidad y de la mantenibilidad

En el caso de que la tasa de fallos $\lambda(t)$ y la tasa de reparación $\mu(t)$ sean constantes,

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

La disponibilidad aumenta al aumentar la fiabilidad (disminuir la tasa de fallos λ) o al disminuir el tiempo medio de reparación (aumentar la tasa de reparación μ).

Si adoptamos, para simplificar, que el esquema de vida de una máquina consiste en una alternancia de "tiempos de buen funcionamiento" (TBF) y "tiempos de averías" (TA):

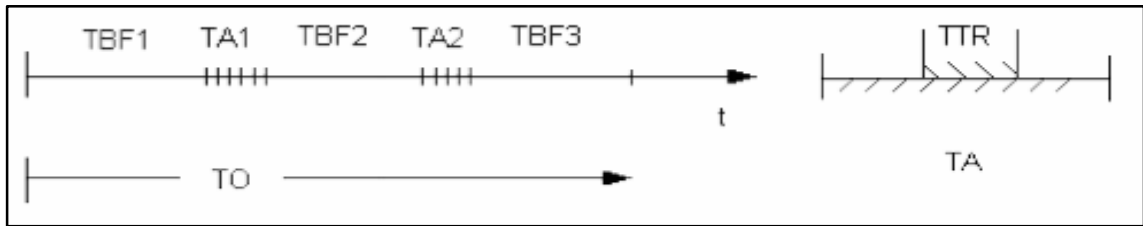


Figura 9-2: Representación de la tasa de fallos

En los que cada segmento tiene los siguientes significados:

TBF	Tiempo entre fallos
TA	Tiempo de parada
TTR	Tiempo de reparación
TO	Tiempo de operación
n	Numero de fallos en el periodo considerado

2.2.10 Confiabilidad

(Análisis de Fiabilidad de Equipos) Significa el mínimo tiempo que el equipo funcionará con seguridad antes de fallar. La variable característica γ es similar a la media y representa un valor de t debajo del cual se encuentra el 63.2% de los datos. El parámetro de forma o geométrico β controla la asimetría de la distribución.

CAPÍTULO III

3. DETERMINACIÓN DE INDICADORES CLASE MUNDIAL, TASA DE FALLOS, TIEMPO DE REPARACIÓN Y CRITICIDAD DE EQUIPOS ASOCIADOS

Según el (Análisis de Fiabilidad de Equipos) la teoría de la fiabilidad es el conjunto de teorías, métodos matemáticos, estadísticos, procedimientos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de fallos, están dirigidos a resolver problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración de vida media y porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de un sistema.

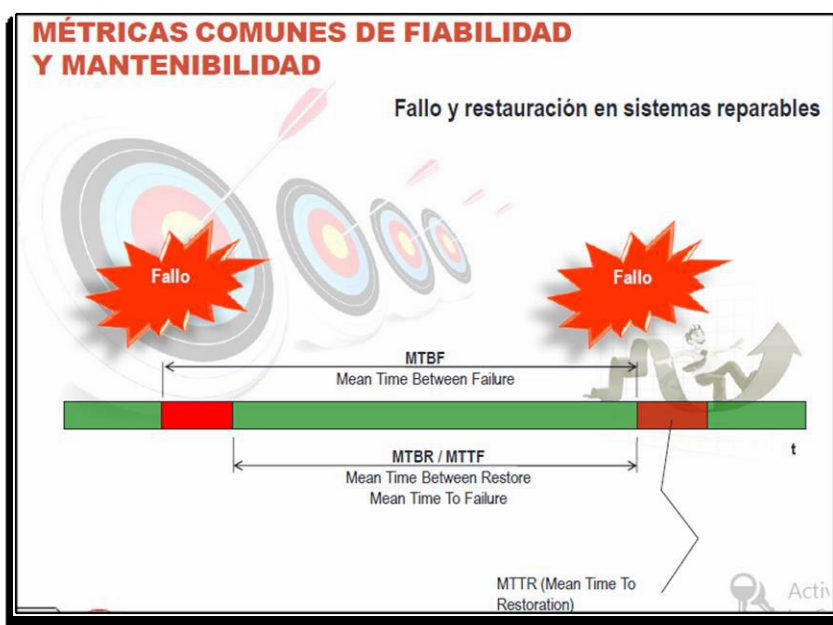


Figura 1-3: Métricas Comunes de Fiabilidad y Mantenibilidad
Fuente: Sexto, L. F. (s.f.). Ingeniería de la Fiabilidad. 29-30.

3.1 Registro de fallos

Petroamazonas EP como soporte a la gestión de mantenimiento implementó herramientas informáticas y personal técnico para la gestión de activos, son los encargados, de la recolección y alimentación de la base de datos de mantenimiento cuya plataforma y aplicación es Máximo oil & gas, plataforma que tiene sus bases en estándares internacionales como la ISO 14224:2006, en esta base de datos están incluidos los equipos que conforman los sistemas de inyección de químicos que es el tema de estudio para esta investigación.



Figura 2-3: Sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil & Gas
Fuente: Ingeniería de Gestión de Activos

La recolección de datos para ingresar en la aplicación o software de mantenimiento, será durante todo el ciclo de vida operacional del activo, incluyendo la instalación, arranque, operación, mantenimiento y modificaciones que sean necesarias sin afectar el proceso productivo en la empresa.

La recopilación de datos está enfocada en la calidad de la información que está caracterizada por:

- Integridad de los datos en relación a las especificaciones,
- Cumplimiento de las definiciones de los parámetros de confiabilidad, tipo de datos y formatos,
- Manipulación y almacenamiento de los datos,
- Información de relevancia para las necesidades del suario. El registro de datos contempla:
- Datos del equipo que normalmente se encuentra en una placa metálica sobre el activo, o en los catálogos y boletines técnicos proporcionados por el fabricante,
- Taxonomía dentro del proceso,
- Atributos del equipo,
- Registros de falla, sus causas y consecuencias,
- Intervenciones para mantenimiento, recursos utilizados y demás acciones estrictamente necesarias para mantener su función.

La confiabilidad de la información depende en gran medida de la calidad de información ingresada, por lo que la información obtenida de Máximo Oil & Gas luego es el resultado de la alimentación en el historial de los activos.

El sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil & Gas, dispone de un módulo de auto servicio (self service) que por el momento no se encuentra habilitado, éste módulo brinda la posibilidad de que las novedades de fallo de los equipos sean reportadas directamente al personal de mantenimiento para que sea planificado, programado y ejecutado.

En vista de lo mencionado anteriormente, el reporte sobre novedades de fallo de los sistemas de inyección de químicos se lo realiza diariamente, mediante correo electrónico de parte de los usuarios a la supervisión de instrumentación.

La supervisión de instrumentación delega a un técnico de instrumentación, sea de forma verbal o a través de reenvío del correo electrónico, la responsabilidad de atender este requerimiento donde consta la novedad.

Esta forma de trabajo, si bien es cierto se cumple con los trabajos solicitados, pero se tiene la debilidad de que no se llevan registros automáticos en la que se vaya alimentando una base de datos para poder realizar análisis estadísticos y cuantificar la frecuencia de fallos y acciones correctivas realizadas por parte del técnico de mantenimiento que atendió tal requerimiento.

Razón por la cual se ha creado un FORMULARIO para el registro de trabajos solicitados para los sistemas de inyección de químicos, el cual nos brinda la posibilidad de tener históricos de fallo, tipo de fallo, frecuencia, novedades adicionales, tipo de químico involucrado, las acciones correctivas realizadas y que servirán de base para alimentación al sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil & Gas

REGISTRO					FORMULARIO		
FECHA	LOCACIÓN	SUBSISTEMA	ID DEL EQUIPO	COD	MODULO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	PRIORIDAD
31/10/2016	TTT-SEP	CABEZAL INYECCION			No inyecta	E-192	ALTA
31/10/2016	TAP-09	CABEZAL INYECCION			No inyecta bien	E-192	ALTA
31/10/2016	SHA-09	CABEZAL INYECCION	CAF	0007181	No inyecta	ANTIESPUMANTE	ALTA
31/10/2016	TTT-SEP	CABEZAL INYECCION	CAF	0007068	Liqueo por el pistón	DEMULSIFICANTE	ALTA
30/10/2016	ATC-18	ACCESORIOS			Fuga por la cañería de succión.	L276 WS	ALTA
30/10/2016	TTT-11	CABEZAL INYECCION			Fuga por el packing.	E-192	ALTA
30/10/2016	ATC-30	CABEZAL INYECCION			Fuga de químico por el packing	L 276WS	ALTA
30/10/2016	ATC-23	BULK TANK			Fuga por el acople de btk.	L276 WS	ALTA
30/10/2016	SCY-17	CABEZAL INYECCION			Ajustar regulador de pistón.	E-192	ALTA
30/10/2016	SCY-01	CABEZAL INYECCION			Fuga de químico por el packing	L276 WS	ALTA
30/10/2016	SCY-02	CABEZAL INYECCION			No inyecta	E-192	ALTA
30/10/2016	SHA-09	CABEZAL INYECCION	CAF	0007181	No inyecta	ANTIESPUMANTE	ALTA
29/10/2016	TTT-SEP	CABEZAL INYECCION	CAF	0007068	Liqueo por el pistón	DEMULSIFICANTE	ALTA
29/10/2016	SHA-09	CABEZAL INYECCION	CAF	0007181	No inyecta	ANTIESPUMANTE	ALTA
29/10/2016	TTT-SEP	CABEZAL INYECCION	CAF	0007068	Liqueo por el pistón	DEMULSIFICANTE	ALTA

Figura 3-3: Formulario para registro de fallo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

3.1.1 Datos para la elaboración de un diagrama de Pareto

Tabla 1-3: Datos para la elaboración de un diagrama de Pareto

Locación	Frecuencia	% Acumulado		80-20
SCY -43	31	8.3	8.33	80
SCY -28	26	15.3	6.99	80
SCY -45	22	21.2	5.91	80
SCY-01	21	26.9	5.65	80
SCY -44	21	32.5	5.65	80
SCY-03	20	37.9	5.38	80
SCY -05	18	42.7	4.84	80
SCY -08	18	47.6	4.84	80
SCY -27	18	52.4	4.84	80
SCY -31	17	57.0	4.57	80
SCY -32	16	61.3	4.30	80
SCY -37	16	65.6	4.30	80
SCY -42	15	69.6	4.03	80
SCY -17	13	73.1	3.49	80
SCY -22	12	76.3	3.23	80
SCY -39	12	79.6	3.23	80
SCY -19	10	82.3	2.69	80
SCY -49	10	84.9	2.69	80

Fuente: Datos para la elaboración de un diagrama de Pareto
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Diagrama de Pareto: eventos de falla en pozos Secoya

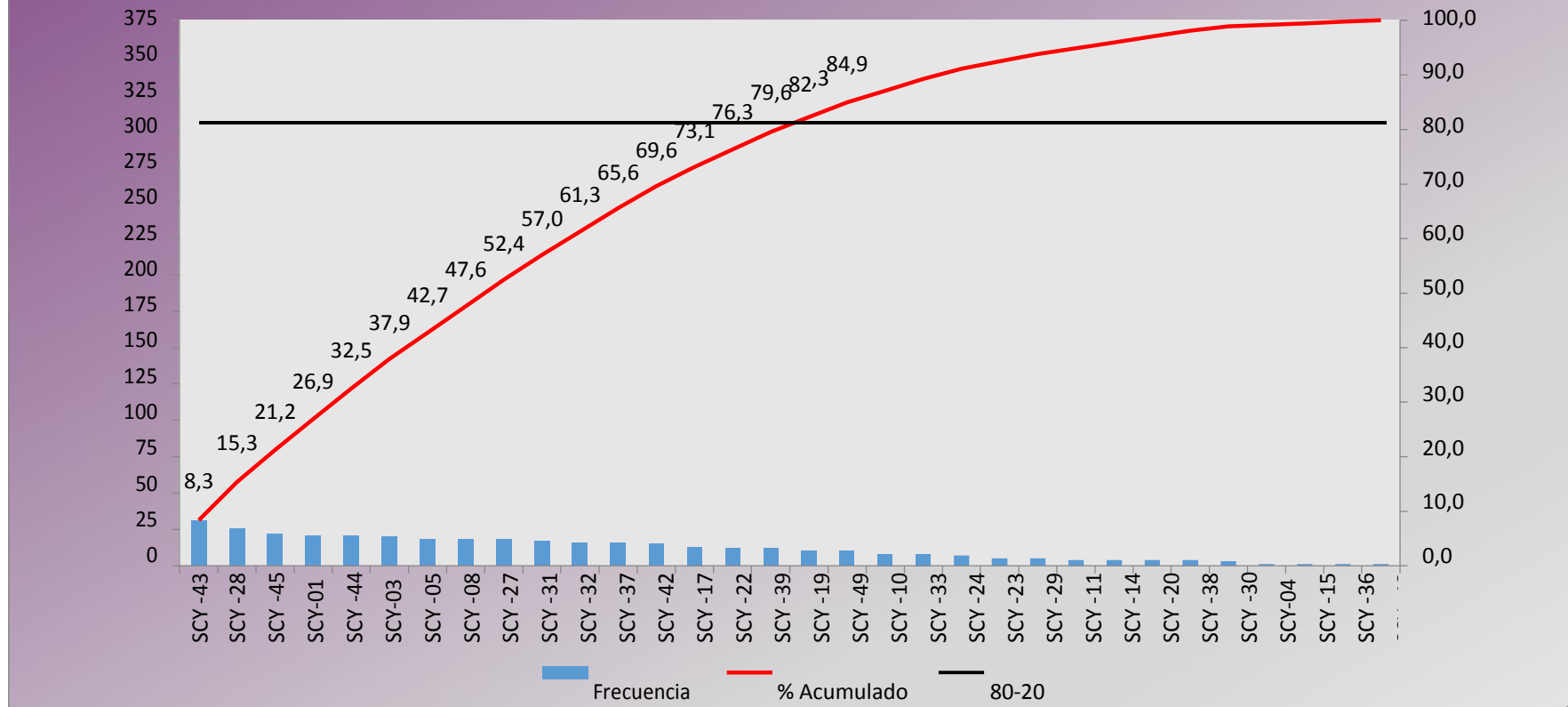


Figura 4-3: Diagrama de Pareto eventos de falla en pozos Secoya
 Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

3.2 Determinación de la tasa de fallos y tiempo de reparación

Tabla 2-3: Índices de fiabilidad pozos Secoya

ÍNDICES DE FIABILIDAD POZOS SECOYA									
Locación	Fallos funcionales	λ (horas)	MTBF	MTTR	TTR	DISPONIBILIDAD	INDISPONIBILIDAD	$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$ (720 h)	$F(t) = 1 - R(t)$
SCY -43	24	0.002739726	365	60	1440	84%	16%	14%	86.09%
SCY -28	22	0.002511416	398	55	1210	86%	14%	16%	83.61%
SCY -45	10	0.001141553	876	25	250	97%	3%	44%	56.04%
SCY-01	7	0.000799087	1251	17.5	122.5	99%	1%	56%	43.75%
SCY -44	1	0.000114155	8760	2.5	2.5	100%	0%	92%	7.89%
SCY-03	7	0.000799087	1251	17.5	122.5	99%	1%	56%	43.75%
SCY -05	10	0.001141553	876	25	250	97%	3%	44%	56.04%
SCY -08	4	0.000456621	2190	10	40	100%	0%	72%	28.02%
SCY -27	6	0.000684932	1460	15	90	99%	1%	61%	38.93%
SCY -31	5	0.000570776	1752	12.5	62.5	99%	1%	66%	33.70%
SCY -32	3	0.000342466	2920	7.5	22.5	100%	0%	78%	21.85%
SCY -37	9	0.001027397	973	22.5	202.5	98%	2%	48%	52.28%
SCY -42	9	0.001027397	973	22.5	202.5	98%	2%	48%	52.28%
SCY -17	1	0.000114155	8760	2.5	2.5	100%	0%	92%	7.89%
SCY -22	3	0.000342466	2920	7.5	22.5	100%	0%	78%	21.85%
SCY -39	5	0.000570776	1752	12.5	62.5	99%	1%	66%	33.70%
SCY -19	4	0.000456621	2190	10	40	100%	0%	72%	28.02%
SCY -49	3	0.000342466	2920	7.5	22.5	100%	0%	78%	21.85%

Fuente: Índices de fiabilidad pozos Secoya
Realizado por: Mancero, Ernesto, 201

3.3 Demostracion de la hipótesis

Según (Nicholls D., 2005), quien recomienda tiempo medio entra fallos para varios tipos de equipos entre los que se encuentran bombas, e indica que su MTBF debe estar entre un rango de 31000 a 143000 horas, con lo que el valor deseado mínimo para bombas sería de 31000 horas como rango aceptable de operación.

Cálculo de confiabilidad esperada según MTBF

$$R(t) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t}$$

$$R(t) = 2.71828^{-\frac{720}{31000}}$$

$$R(t) = 2.71828^{-0.02322581}$$

$$R(t) = 0.9770$$

Tabla 3-3: Resultado de MTBF actual y esperado

LOCACIÓ N	MTBF ACTU AL	CONFIABIL IDAD ACTUAL	DISPONIBILID AD	MTBF ESPERAD O	CONFIABIL IDAD ESPERADA
SCY-43	365	14%	84%	31000	98%
SCY-28	398	16%	86%	31000	98%
SCY-45	876	44%	97%	31000	98%
SCY-01	1251	56%	99%	31000	98%
SCY-44	8760	92%	100%	31000	98%
SCY-03	1251	56%	99%	31000	98%
SCY-05	876	44%	97%	31000	98%
SCY-08	2190	72%	100%	31000	98%
SCY-27	1460	61%	99%	31000	98%
SCY-31	1752	66%	99%	31000	98%

Fuente: Valores de confiabilidad actuales y esperados

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE QUÍMICOS EN ISLAS DE PRODUCCIÓN SEGÚN LOS CRITERIOS DE LA NORMA SAE-JA-1011

En la Justificación del Problema se mencionó que las bombas de químico ubicadas en los well pads o islas de producción (Pozos) **no se tiene un programa de mantenimiento preventivo lo cual se ha considerado como una debilidad para la organización, con oportunidad de mejora.**

Para que esta oportunidad de mejora tenga resultados positivos es necesario que se encamine al usuario, hacia una nueva cultura de mantenimiento y operación.

Según (Sexto, Modulo XI-Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), 2014), La importancia estratégica del RCM, es que impacta sobre los tres factores que determinan el desempeño del activo:

- Confiabilidad Inherente (¿Cómo fue diseñado?)
- Plan de Mantenimiento (¿Cómo será o es mantenido?)
- Contexto Operacional (¿Cómo será o es utilizado?)

Por tradición la mayoría de los planes y programas de mantenimiento han sido desarrollados y son llevados a cabo sólo por el personal de mantenimiento, sin considerar el contexto operacional, por esta razón es necesario la formación de un Equipo Natural de Trabajo.

4.1 Determinación del grupo natural de trabajo

En la Fase Inicial del Proceso de implantación del RCM, del capítulo II, numeral 2.2.5.4, se definieron las responsabilidades de los actores que directa e indirectamente, participan, conformando este grupo natural de trabajo, cuyo objetivo es permitir, a las Superintendencias de Mantenimiento, Operaciones y Gerencia de Campo, tener un acceso sistemático al conocimiento y la experiencia de cada miembro del grupo.

Ser miembro de estos equipos de trabajo, incrementa su entendimiento y la razón de ser de

un activo físico y su función en un contexto operacional, concepto que muy poco se menciona en nuestro lenguaje como mantenedores y usuarios de los activos.

Estos grupos de trabajo deberán actuar bajo la guía de un especialista en RCM (Reliability-centred Maintenance / Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) quien será el **Facilitador**, que de acuerdo al nivel de madurez del departamento de mantenimiento en el bloque 57 no se dispone del personal que cumpla ese perfil, con acreditación como especialista en RCM, sin embargo, la estructura organizacional de la Superintendencia de Mantenimiento dispone de un departamento de Ingeniería de Confiabilidad, con personal que cumple estas funciones.

4.2 Descripción del contexto operacional para sistemas de inyección de químicos en pozos.

La American Society of Automotive Engineers¹⁹⁹⁹ publica la Norma SAE JA 1011 que es el “Criterio de Evaluación del proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)”. Esta norma establece que se deberá definir el contexto operacional del activo numeral 5.1.1.

Tabla 1-4: Requisitos Norma SAE-JA1011

Requisitos de la Norma SAE JA1011	
5.	Reliability Centered Maintenance (RCM)
5.1	Funciones
5.1.1	The operating context of the asset shall be defined.
5.1.2	All the functions of the asset/system shall be identified (all primary and secondary functions, including the functions of all protective devices).
5.1.3	All function statements shall contain a verb, an object, and a performance standard (quantified in every case where this can be done
5.1.4	Performance standards incorporated in function statements shall be the level of performance desired by the owner or user of the asset/system in its operating context.

Fuente: Norma SAE-JA1011

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 2-4: Requisitos Norma SAE-JA1011

Requisitos de la Norma SAE JA1011	
5.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)
5.1	Funciones.
5.1.1	definirá el contexto operacional del activo.
5.1.2	Todas las funciones de un activo / sistema, deben ser identificados (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección.
5.1.3	Todas las declaraciones de función deberán contener un verbo, un objeto, y un estándar de rendimiento (cuantificada en todos los casos en que esto se puede hacer).
5.1.4	Normas de funcionamiento incorporados en las declaraciones de funciones será el nivel de rendimiento deseado por el propietario o usuario del activo / sistema operativo en su contexto.

Fuente: Norma SAE-JA1011

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Para que el programa de mantenimiento tenga el éxito deseado, el personal que desarrollará este programa debe asegurarse y entender a fondo el contexto operacional del sistema de inyección de químicos en los pozos o islas de producción.

El contexto operacional contempla los siguientes factores:

4.2.1 *Proceso Continuo*

En los pozos o islas de producción, las bombas de inyección de químico, acoplado a su respectivo motor eléctrico trabajan las 24 horas del día, los 365 días del año, por lo tanto el proceso de inyección es Continuo, y porque la naturaleza de las operaciones así lo exige.

4.2.2 *Redundancia*

El sistema de inyección de químico tanto en planta de proceso o islas de producción, la presencia de varias bombas en una misma locación, no significa que sea un sistema redundante.

Una bomba normalmente tiene dos cabezas de inyección y cada una puede inyectar un químico diferente, si el ingeniero de corrosión de acuerdo a los requerimientos operativos cree conveniente utilizar esas dos cabezas de inyección con el mismo químico, entonces la redundancia aplica únicamente a las cabezas de inyección (Fluid end) para la misma bomba.

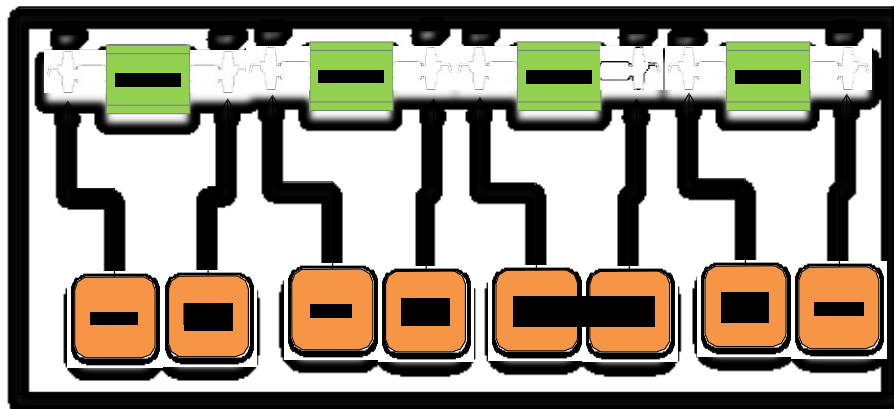


Figura 1-4: Disposición Bombas de inyección de químicos

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

El número de bombas dependerá de la cantidad de pozos que se tenga en una isla de producción, por ejemplo, si una isla de producción solamente dispone de un pozo, es posible que sea necesario una sola bomba con dos cabezas de inyección con la posibilidad de inyectar dos químicos diferentes (por citar un ejemplo, químico anti escala E-192 o químico Anti corrosivo L276 W/S). Aquí interviene el criterio del ingeniero de corrosión.

4.2.3 Estándares de Calidad

El hecho de tener dos o más bombas en una misma locación, no significa que el estándar de funcionamiento deseado por el usuario sea igual para todas las bombas. Cumplirán la misma función principal que es inyectar químico, pero, las condiciones, el punto de inyección del químico y la caracterización del fluido de los pozos exige que el estándar de funcionamiento deseado por el usuario sea diferente.

4.2.4 Estándares medio ambientales

El aspecto ambiental es responsabilidad de cada persona que desarrolla actividades o presta servicio a PETROAMAZONAS EP, cumpliendo con las políticas que se indican en los procedimientos que el departamento de Seguridad Salud Ambiente (SSA) ha diseñado e implementado para evitar accidentes dentro de la operación. Estos programas y Procedimientos, son un pilar fundamental en el control de accidentes, se dispone de procedimientos de:

- Permisos de trabajo
- Plan de Manejo Ambiental (PMA)
- Programa de manejo de Químicos
- Manejo defensivo
- Programa ALERT

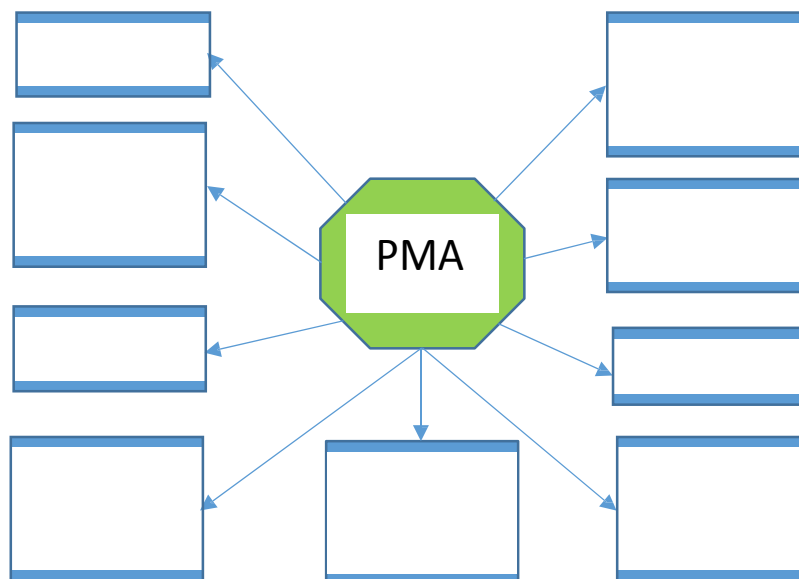


Figura 2-4: Plan de Manejo Ambiental (PMA)

Fuente: Seguridad Salud Ambiente PETROAMAZONAS EP

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Cuando no se cumplen las normativas y procedimientos operativos, se tiene como resultado condiciones subestandar.

Los activos del sistema de inyección de químicos en algún momento de su etapa de operación y vida útil, presentan fallas relacionadas con liqueos y fuga de químico, que, de no ser controlada a tiempo, esta condición de falla, genera impactos ambientales por contaminación del suelo y área circundante.

Ante esta condición de falla que se presentan en: las bombas de químico, en los bulk tank, indicadores de nivel (mirillas) de verificación de inyección/dosificación y demás accesorios, todo el personal que trabaja para este sistema sin excepción, debe empoderarse del problema y hacer conciencia del daño que estas fallas pueden causar al entorno, (Confiabilidad Humana).

Debido a que no es suficiente reportar un modo de falla, juega un papel muy importante las iniciativas con pequeñas acciones, a fin de corregir temporalmente esa falla hasta que el personal de mantenimiento tome acción y realice los correctivos correspondientes.

Tanto el personal de operaciones y mantenimiento deberá enfocarse en salvaguardar la integridad del medio ambiente, tomando en consideración el tema de las penalizaciones, cada vez más severas, que tampoco es lo relevante sino más bien la integridad de las personas que utilizan u operan estos activos y la sociedad en general, preservando y conservando el medio ambiente. En PETROAMAZONAS EP se tiene implementado un Plan de Manejo Ambiental (PMA) que contempla:

4.2.5 Riesgos para la Seguridad

Al tener variedad de químicos, considerados muy necesarios para las operaciones en PETROAMAZONAS EP, implica que el nivel de seguridad debe considerarse a la hora de utilizarlos.

Los proveedores al no tener control sobre sus productos, significa que toda la responsabilidad pasa a ser exclusivamente del usuario, por lo tanto, tiene la obligación de poner en un lugar visible en cada uno de los contenedores del químico sean estos, bulk tank o tambores de 55 galones de capacidad, la respectiva HMIS III.



Figura 3-4: HMIS III
Fuente: Seguridad Salud Ambiente PETROAMAZONAS EP

De acuerdo al Programa de manejo de químicos y comunicación de peligros, es una hoja de Información de los Peligros del Material (Producto) versión III, con la particularidad que en esta etiqueta, ya se indica a que órgano del cuerpo, afecta ese producto, el grado de afectación a la salud catalogada como aguda o crónica. Por eso es importante que el personal tenga conocimiento de los peligros asociados a los que se expone al trabajar con este tipo de sustancias.

Otro factor que tiene relación con la Seguridad, es la variable física de presión; que están en el orden de 100 hasta 2000 PSI en la línea de descarga de estas bombas, también tenemos la presión en el punto de inyección, presión de las líneas y capilares que están conectados al fondo del pozo en una bomba electro sumergible.

En las facilidades o instalaciones antiguas, no existe instalado un sistema de seguridad que alivie cualquier incremento de presión que este fuera de control, como se puede apreciar en la siguiente fotografía, en un sistema de inyección de químicos.



Figura 4-4: Sistema sin protección de Seguridad PSV & PI
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

La seguridad exige que en nuevas facilidades se instale un sistema de alivio de presión, que consta de una válvula PSV (de las siglas del inglés Pressure Safety Valve), cuyo set point esta entre 500 y 750 PSI. Adicional se instala un indicador de presión (manómetro) rango 0-1000 PSIG, que servirá para verificar el comportamiento de la bomba, y su eficiencia dentro del proceso de inyección de químico.



Figura 5-4: Sistema con protección de Seguridad PSV & PI
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.2.6 *Turnos de trabajo*

El personal de PETROAMAZONAS EP, que conformaría estos grupos de trabajo, labora bajo la modalidad de 14 días y 14 días de descanso, estos días de descanso del personal, está cubierto por cada uno de sus pares o backs, por lo tanto, estos grupos de trabajo deberán conformarse para cada turno de trabajo.

El horario de trabajo del personal de PETROAMAZONAS EP, inicia a las 6 de la mañana y termina a las 18 horas y de requerirse se extenderá la jornada diaria de trabajo generando tiempo extra o suplementario que es reconocido por la empresa, previo al cumplimiento de ciertos requisitos legales como son las aprobaciones respectivas justificando la emergencia.

El servicio de Taladros es continuo las 24 horas del día, los técnicos de mantenimiento tienen el compromiso y obligación de asistir ante una actividad programada como son las pruebas de rotación y habilitación de los sistemas de inyección de químicos, luego de que un pozo ha sido intervenido para mantenimiento o WORKOVER

4.2.7 *Entorno o ubicación*

En el caso de los sistemas de inyección de químicos instalados en pozos o islas de producción, la mayoría dispone de una protección metálica construida con tubería chatarra, esta protección se la conoce como BUNKER, con la finalidad de proteger a estos equipos y evitar actos de vandalismo, así como también evitar el hurto o robo de motores eléctricos y las bombas de inyección.

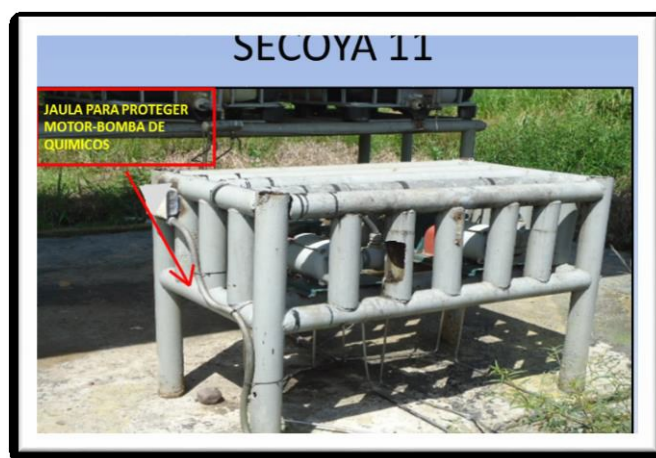


Figura 6-4: Protección metálica bunker
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

En la industria petrolera esta práctica es anti técnica, sin embargo, se ha convertido en una necesidad de seguridad por la ubicación geográfica de los pozos de Secoya del bloque 57 Libertador.

En el aspecto operacional no es significativo la presencia de esta protección, porque no afecta las intervenciones de parte del usuario en estos equipos, como por ejemplo realizar cambios en la dosificación o regulación del caudal a inyectar, lo pueden hacer a través de los espacios que quedan entre tuberías, el problema se presenta para las actividades de mantenimiento, sea preventivo, predictivo o correctivo, de las bombas y motores.

La propuesta del plan de mantenimiento para los motores y bombas de químico de los pozos debe considerar estos aspectos negativos para la organización y el desarrollo de las operaciones. Para solventar o corregir un modo de falla en el sistema de inyección de químicos en los pozos, se necesita de mayores recursos (presupuesto no programado), como, por ejemplo, es necesario y obligatorio un equipo de suelda con su respectivo personal soldador y su ayudante, ellos serán quienes retiren parte de la protección metálica que se muestra en la figura 23.

En ocasiones, no se ha podido tener el apoyo de un equipo de suelda, por varias razones, entre algunas podría atribuirse a la finalización o falta de una orden de servicio, o que los equipos de suelda se encuentra realizando actividades de montajes e instalación de nuevas facilidades cuya prioridad haga que no se pueda apoyar a tiempo al departamento de mantenimiento para realizar su trabajo en las bombas de químico.

La dinámica operacional exige que esa falla sea corregida, por lo que se ha realizado tareas de reparación en sitio, pero estas reparaciones no son muy asertivas por la incomodidad del trabajo para manipular las herramientas, esta maniobra crea malestar en el personal técnico, además que generan riesgo para la salud por la contaminación de su vestimenta con los químicos que se encuentran en las tuberías o capilares (3/8" y 1/2").

Estos aspectos conducen a un cambio involuntario de la cultura de mantenimiento y operación, generando variaciones de la calidad del servicio de mantenimiento e inconformidad para el usuario por la recurrencia o frecuencia de fallos en estos sistemas.

4.2.8 Repuestos

El tema de repuestos amerita un análisis profundo y revisión de las fallas asociadas más recurrentes.

Para la reposición o adquisición de repuestos en la organización se lo ha generado tomando como referencia los catálogos del fabricante de bombas de químico, que por cierto en las operaciones de pozos y estación Secoya del Bloque 57 Libertador, del inventario se dispone bombas de la marca Texteam y actualmente en el mercado se encuentra bombas de la marca Flomore, de similares características e intercambiables cien por ciento con todas sus partes y componentes con las bombas de la marca Texteam.

Disponer de un stock de repuestos en las bodegas centrales, se justificaría pensando en minimizar **las consecuencias** de las fallas producidas en este sistema.

4.3 Descripción del contexto operacional para sistemas de inyección de químicos en Estación o planta de proceso.

Para el caso de la planta de proceso o estación de producción, estos sistemas no requieren ningún tipo de custodio o vigilancia ya que a estas estaciones solo ingresa personal autorizado y existe personal de operaciones de campo como custodios de los activos y operadores del proceso.



Figura 7-4: Sistema de inyección de Químico en Planta de Proceso
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

A excepción del entorno o ubicación, los otros factores que definen el contexto operativo del sistema de inyección continuo de químico en una planta de proceso, aplican de la misma manera que en los pozos:

- Proceso Continuo
- Redundancia
- Estándares de Calidad

- Estándares medio ambientales
- Riesgos para la Seguridad
- Turnos de trabajo
- Entorno o ubicación
- Repuestos

4.4 Determinación de las funciones

Para definir funciones de los componentes del sistema de inyección de químicos, se muestra a continuación un esquema típico de los componentes de este sistema, teniendo en cuenta que la inyección de químico la realizan en planta de proceso (estación) y en islas de producción (pozos sean productores o inyectoras).

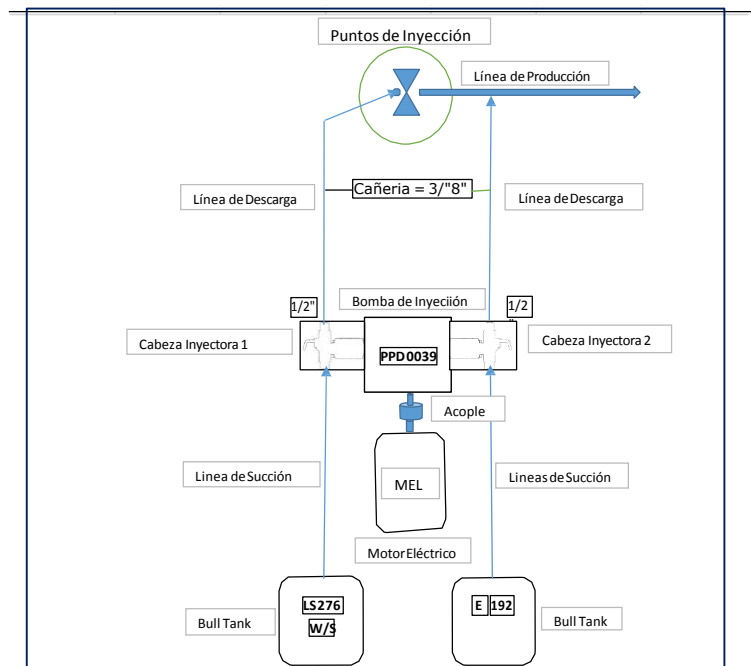


Figura 8-4: Esquema de un sistema de inyección de químicos
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

En la figura anterior se detalla una sola bomba que contiene dos cabezas inyectoras las cuales permiten inyectar dos clases de químicos en diferentes puntos de inyección.

A esta bomba está acoplado un motor eléctrico, que recibe la energía de un generador o de una central de generación, esta energía es controlada a través de componentes eléctricos diseñados e instalados dentro de un arrancador o panel de control (CP).

Además, se puede observar líneas que representan las tuberías cuyo diámetro son 3/8" y 1/2", que conducen el producto químico a ser inyectado. Para el ejemplo que se ilustra se indica, el o los puntos de inyección, más adelante, se detalla con más detenimiento estos componentes.

4.4.1 Componentes del sistema de inyección de químicos

Un sistema de inyección de químicos es estándar en las operaciones de la industria petrolera, la cantidad de bombas depende de las necesidades operacionales y el número de puntos de inyección definidos por operaciones y los Ingenieros de corrosión.



Figura 9-4: Componentes de un sistema de inyección de químico
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

- Tanques de suministro de químicos (Bulk Tank o tambores plásticos de 55 Galones de capacidad)
- Tablero de control (CP)
- Motor Eléctrico (MEL)
- Acope Mecánico
- Bomba de desplazamiento positivo (PPD)
- Punto de inyección
- Accesorios: incluye tubería capilar, conectores, indicadores de nivel (mirilla) instrumentos indicadores y dispositivos de seguridad como válvulas PSV, válvulas anti retorno (check).
- Químicos a inyectar, como materia prima del sistema.

4.4.2 Describiendo Funciones:

“Un principio bien establecido por la ingeniería es que la definición de funciones debe consistir de un verbo y de un objeto. También ayuda mucho iniciar las definiciones con un verbo en infinitivo (“bombear agua”, “Transportar gente”, etc.)

Sin embargo, como se explica a continuación, los usuarios no esperan sólo que el activo cumpla con una función, también esperan que lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable. Entonces la definición de una función – y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico- **no está completa a menos que especifique el nivel de funcionamiento deseado por el usuario, tan precisamente como le sea posible** (en oposición a su capacidad de diseño)” (Moubray, 2004, pág. 23).

4.4.3 Función primaria.

La norma SAE JA1011 numeral 5.1.3. Contempla que “La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario”.

Citemos el siguiente ejemplo para ilustrar la función de una bomba de inyección de químicos:

Inyectar 3 gpd de químico inhibidor de corrosión en la línea de succión de la bomba Horizontal multietapa (HPS) del pozo re inyector Secoya 01.

El verbo es: Inyectar Químico

El Objeto: Inhibidor de corrosión

Estándar de funcionamiento deseado por el usuario: 3 galones por día (gpd), en línea de succión de la bomba horizontal multi etapa (HPS) del pozo re inyector Secoya 01.

4.4.4 Cómo deben listarse las funciones.

Según (Moubray, 2004). Una definición funcional escrita adecuadamente –especialmente si está totalmente cuantificada- define con precisión los objetivos de desempeño (funcionamiento deseado). Esto asegura que todos los involucrados conocen exactamente qué se quiere, lo que a su vez asegura que las actividades de mantenimiento permanezcan enfocadas hacia las necesidades reales de los usuarios (o clientes). Para listar las funciones se utilizará la siguiente plantilla como Hoja de Información RCM.

Tabla 3-4: Hoja de Información RCM II

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA	SISTEMA N°			Hoja
			FACILITADOR	Fecha	
	SUB-SISTEMA	SUB-SISTEMA N°			De
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODODE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)		

Fuente: (Moubray, 2004, pág. 56)
 Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.4.5 Función Primaria de un Bulk Tank.

- **Contener** productos químicos según la necesidad operacional.
- **Mantener** nivel de químico, mínimo de 50 galones para garantizar producto a la succión de las bombas de inyección (caso de utilizar bulk tanks).
- **Garantizar** calidad del producto almacenado para alimentar a las bombas de inyección.
- **Acoplar** mediante su válvula principal los accesorios de unión, capilares y mirilla de dosificación con la succión de la bomba de inyección de químicos
- **Soportar** a la mirilla indicadora de nivel y accesorios como válvulas y conectores para tubería de acero inoxidable de 3/8” y 1/2”



Figura 10-4: Acumulador de químico Bulk Tank
 Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.4.6 *Función Primaria de un Tablero de Control*

- **Distribuir** circuitos de control y fuerza para cada uno de los motores eléctricos acoplados a las bombas que conforman un sistema de inyección de químico
- **Controlar** la operación de un circuito eléctrico específico o toda la instalación, para efecto de mantenimiento y/o verificación, mediante la actuación de un disyuntor colocando en la posición de apagado (OFF)
- **Proteger** a los dispositivos y componentes eléctricos tales como disyuntores, breaker, fusibles, interruptores diferenciales que se encargan de proteger cada circuito por fallas eléctricas como sobrecarga, corto circuito y fallas a tierra
- **Indicar** el estado funcional de un motor – bomba mediante luces indicadoras de encendido o apagado.



Figura 11-4: Panel de Control
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.4.7 *Función Primaria de un Motor Eléctrico*

- **Transformar** energía eléctrica con tensiones de 120 VAC, en energía mecánica la cual será transmitida mediante un acople mecánico tipo araña, a la bomba de inyección de químicos.
- **Transformar** energía eléctrica con tensiones de 480 VAC, en energía mecánica la cual será transmitida mediante un acople mecánico tipo araña, a la bomba de inyección de químicos.

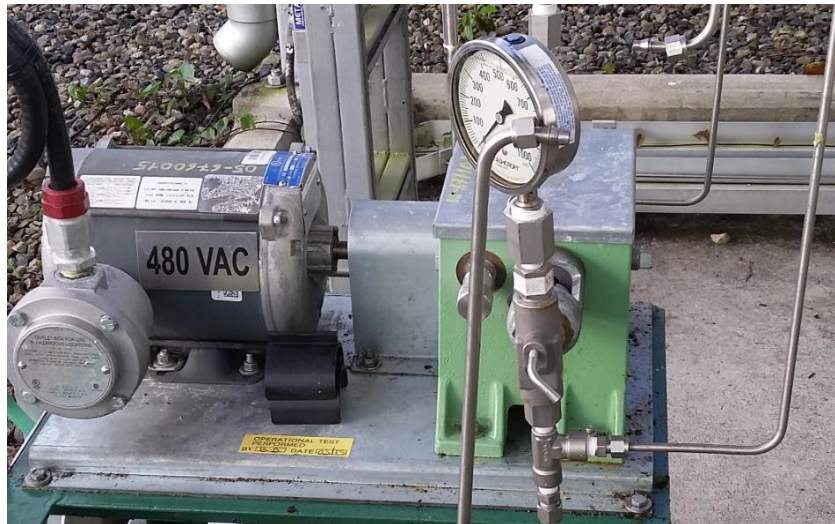


Figura 12-4: Motor Eléctrico
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.4.8 *Función Primaria de un Acople Mecánico*

- **Acoplar** motor eléctrico y bomba de inyección
- **Transmitir** movimiento rotatorio desde el motor eléctrico hacia la bomba de inyección.

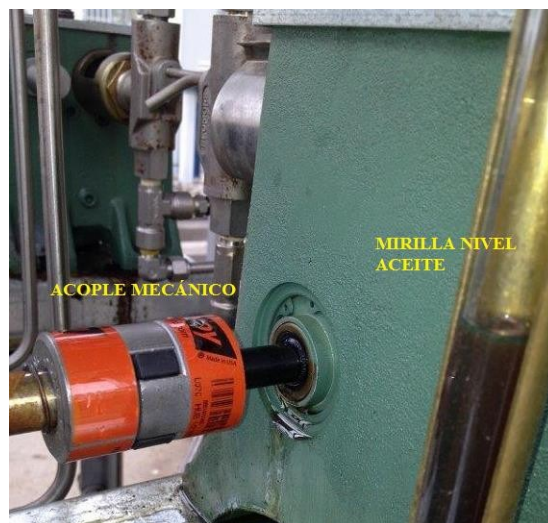


Figura 13-4: Acople Mecánico bomba-motor
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.4.9 *Función Primaria de la Válvula de Seguridad PSV*

- **Proteger** al sistema de inyección de químico en caso de sobre presión cuando supere su valor de relevo.
- **Alertar** al operador el funcionamiento anormal del sistema de inyección de químico por el aumento de presión en la línea de descarga de la bomba.

- **Prevenir** al técnico de mantenimiento en caso de relevo o actuación de la válvula de seguridad por una condición de sobre presión en tuberías conductoras del químico.

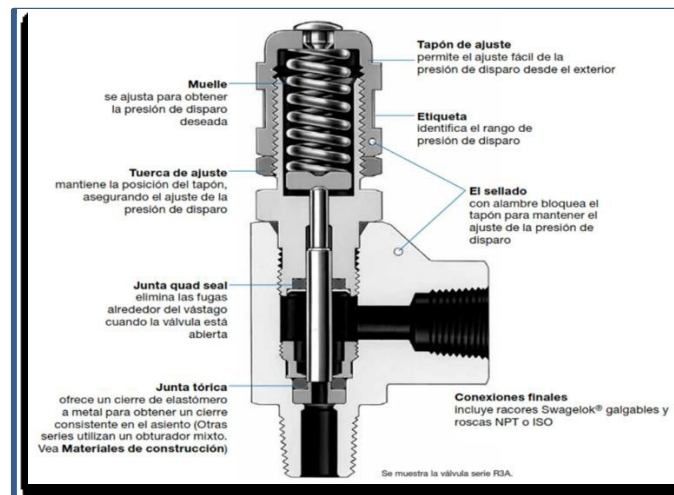


Figura 14-4: Válvula de Seguridad PSV
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.4.10 *Función Primaria de Indicador de Presión*

Comúnmente llamado como manómetros, ver figuras 29 y 32

- **Medir** valor de variable de proceso en la línea de descarga de la bomba de inyección
- **Indicar** valor de la variable de presión en línea de descarga de la bomba de inyección
- **Prevenir** al técnico de mantenimiento si observa una condición de sobre presión en tuberías conductoras del químico

4.4.2 *Función Primaria de la Bomba de desplazamiento Positivo (PPD)*

- **Inyectar** x gpd de químico inhibidor de corrosión en la línea de succión de la bomba HPS del pozo re inyector Secoya 01.

Para listar las funciones de la bomba de químico se debe tener en cuenta que el verbo es igual en todos los casos, lo que cambia el estándar de funcionamiento deseado por el usuario, así como también el punto donde se inyectará el químico en la cantidad requerida de inyección.

La bomba de inyección como conjunto y por diseño está conformada por dos grupos, la parte que corresponde al mecanismo interno donde se concentra una variedad de componentes y elementos mecánicos como: engranajes, piñón, ejes, pasadores, retenedores, rodamientos entre otros, a este conjunto se lo denomina **power end**.

El otro grupo es la cabeza de inyección (head injector) denominado como **fluid end**, es el conjunto que está en contacto con el fluido a inyectar. Aquí se aloja la unidad de sello (packing) y el eje (plunger) de inyección.



Figura 15-4: Bomba de inyección de químico
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.5 Determinación de las fallas funcionales.

En el capítulo II de esta investigación, se mencionó que una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable por el usuario. (Moubray, 2004, pág. 49).

Cuando un activo presenta una novedad, o no satisface los parámetros de funcionamiento aceptable, el usuario reporta esta novedad como falla del activo como un todo, mientras que para el personal de mantenimiento esta novedad debe ser motivo de análisis, por lo que **no se debe generalizar una falla**, porque a pesar de que los componentes del sistema de inyección de químicos son idénticos tanto en pozos como en plantas de proceso y a su vez las funciones son idénticas se debe tener cuidado en no generalizar las fallas funcionales, esto depende en gran medida de su contexto operacional.

Un caso práctico se tiene que, cuando el usuario al intentar arrancar el motor de la bomba de químico, éste no enciende, entonces su reporte es: “**la bomba de químico no enciende /o no funciona**” allí se está generalizando una falla como un todo, cuando lo ideal es que el

usuario (operaciones e ingeniería de corrosión) tenga el conocimiento básico de reportar esta novedad en términos de la pérdida de la función específica, para el caso citado la falla podría ser en el motor eléctrico o en el panel de control.

Ser específicos en los reportes agiliza la gestión del personal de mantenimiento, optimizando tiempo y recursos, porque el personal que reporta esta novedad indicará con certeza cuál es el componente que falló, asignando al personal adecuado para la solución del caso.

Otro aspecto a considerar el momento de determinar las fallas, es poder diferenciar entre la pérdida de la función de un activo (falla total) o que éste activo continúe trabajando, aunque presente novedades, si bien es cierto que para el usuario es baja confiabilidad (falla), para el personal de mantenimiento es una falla parcial (pérdida de una función específica).

Para aclarar un poco lo mencionado anteriormente, una bomba de inyección falla si es incapaz de inyectar el químico (falla total), así como también si no es capaz de inyectar o cumplir el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario (falla parcial).

Si la misma bomba que se mencionó en el párrafo anterior, se puede utilizar para inyectar 20 gpd por ejemplo. Entonces el segundo estado de falla ocurrirá si su capacidad cae por debajo de los 20 gpd.

En la determinación de fallas funcionales se menciona acerca del *mecanismo de falla*, que por definición es el proceso físico, químico o de otro tipo o combinación de procesos que conduce a la falla. Causa del fallo, la (s) causa (s) raíz del mecanismo de falla se codifica cada vez que esta información está disponible.

Los códigos en el *mecanismo de falla* según la Norma ISO 14224, están básicamente relacionados con una de las siguientes categorías principales de tipos de fallos:

1. fallas mecánicas;
2. fallas de material;
3. fallas de instrumentación;
4. fallos eléctricos;
5. la influencia externa;
6. varios/misceláneos.

Con los datos obtenidos correspondientes a los pozos de Secoya, se elabora un diagrama de Pareto en el que se consideró el total de fallos, incluye fallos funcionales, fallos parciales, acciones correctivas, modos de fallo, mecanismo de fallo y recomendaciones, es lo que el usuario reporta al personal de instrumentación vía correo electrónico diariamente.

En el siguiente gráfico se observa los pozos de Secoya que presentaron fallas funcionales, en el sistema de inyección de químicos, en el período comprendido entre enero y diciembre del año 2015.

4.5.1 Falla funcional en un Bulk Tank

FECHA	LOCACIÓN	SUBSIS TEMA	ID DEL EQUIP O	MODO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	CATEGORIA EVENTO	Sub división mecanismo de falla
6-may.-15	SCY-039	BULK TANK		No inyecta/ Destape de línea	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	5.1 Bloqueo/atascado
15-oct.-15	SCY-39	BULK TANK		Acople desprendido./cambio	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.4 Desgaste

Se determinaron dos eventos de falla que provocaron pérdida de la función del sistema de inyección de químicos en el pozo Secoya 39 (SCY-39).

Químico comprometido es inhibidor de corrosión L276 W/S

Modo de falla:

- 1 Químico contaminado (Suciedad)
- 2 Acople desprendido de válvula de bulk tank.

Sub división mecanismo de falla:

- 5.1 Bloqueado/atascado (5 Influencia externa como mecanismo de falla)
- 2.4 Desgaste (2 Falla de material como mecanismo de falla)

La categoría de la sub división del mecanismo de falla y el mecanismo de falla ha sido tomado del Standar Internacional, Norma ISO 14224. Tabla B.2 ANEXO B

Se detalla a continuación otras posibles fallas que pueden provocar la pérdida de la función de un sistema de inyección de químicos en el área del bulk tank

- Incapaz de contener productos químicos
- El nivel del producto cae por debajo de 50 galones
 - Químico contaminado con solidos
 - Químico forma grumos en mirilla de dosificación

- Químico muy denso
 - Acople de bulk tank en mal estado
 - Acople de bulk tank mal seleccionado
 - Válvula de bulk tank en mal estado
 - Manipulación errada de válvula de bulk tank
 - Mirilla de dosificación desacoplada de bulk tank
- Mirilla de dosificación averiada.

4.5.2 *Falla funcional del Panel de Control*

FECHA	LOCACIÓN	SUBSIS TEMA	ID DEL EQUIP O	MODO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	CATEGORIA EVENTO	Sub división mecanismo de falla
12-may.-15	SCY-33	CONTROL PAN		Bomba no tiene energía	DEMULSIFICANTE D-97	Falla funcional	4.3 No energía/voltaje
3-jun.-15	SCY-08	CONTROL PAN		Bomba no prende	DEMULSIFICANTE D-97	Falla funcional	4.4 Falla energía/voltaje
7-sep.-15	SCY-03	CONTROL PAN		Bomba sin energía eléctrica	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L. 27	Falla funcional	4.3 No energía/voltaje

Se determinaron tres eventos de falla que provocaron pérdida de la función del sistema de inyección de químicos en los pozos Secoya (SCY-33/08/03).

Químicos comprometidos: Demulsificante D-97 e inhibidor de corrosión L276 W/S

Modo de falla:

1 Bomba no tiene energía: forma errada de reportar un modo de falla con respecto a la condición física detectada. La forma correcta de reportar debería ser: Ausencia de energía

2 Bomba no prende: forma errada de reporte. La forma correcta de reportar debería ser motor eléctrico no arranca/no enciende.

3 Bomba sin energía eléctrica. En realidad, el motor eléctrico es el que falla por ausencia de energía, más no la bomba.

Sub división mecanismo de falla:

4.3 No energía/voltaje (4 Falla eléctrica como mecanismo de falla)

4.4 Falla energía/voltaje (4 Falla eléctrica como mecanismo de falla)

La categoría de la sub división del mecanismo de falla y el mecanismo de falla ha sido tomado del Standar Internacional, Norma ISO 14224. Tabla B.2 ANEXO B

4.5.3 *Fallas Funcionales del Motor Eléctrico*

FECHA	LOCACIÓN	SUBSIS TEMA	ID DEL EQUIP O	MODO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	CATEGORIA EVENTO	Sub división mecanismo de falla
18-sep.-15	SCY-24	MOTOR ELECT		El motor de la bomba no arr	DEMULSIFICANTE D-97	Falla funcional	4.4 Falla energía/voltaje
16-sep.-15	SCY-24	MOTOR ELECT		El motor de la bomba no arr	DEMULSIFICANTE D-97	Falla funcional	4.4 Falla energía/voltaje

Se determinaron dos eventos de falla que provocaron perdida de la función del sistema de inyección de químicos en los pozos Secoya (SCY-24).

Químicos comprometidos: Demulsificante D-97

Modo de falla:

1 El motor de la bomba
no arranca 2 El motor de
la bomba no arranca

Sub división mecanismo de falla:

4.4 Falla energía/voltaje (4 Falla eléctrica como mecanismo de falla)

La categoría de la sub división del mecanismo de falla y el mecanismo de falla ha sido tomado del Standar Internacional, Norma ISO 14224. Tabla B.2 ANEXO B

4.5.4 Fallas funcionales del Acople Mecánico

El acople mecánico es el elemento de unión y transmisión de movimiento circular desde el motor eléctrico a la bomba de inyección.

FECHA	LOCACIÓN	SUBSIS TEMA	ID DEL EQUIP O	MODO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	CATEGORIA EVENTO	Sub división mecanismo de falla
11-jun.-15	SCY-03	ACCESORIOS		Roto matrimonio de bomba	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	falla funcional	1.3 Tolerancia/Falla de alineación
13-jun.-15	SCY-03	ACCESORIOS		Roto matrimonio de bomba	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	falla funcional	1.3 Tolerancia/Falla de alineación

Se determinaron dos eventos de falla que provocaron perdida de la función del sistema de inyección de químicos en los pozos Secoya (SCY-03).

Químicos comprometidos: inhibidor de incrustación E-192

Modo de falla:

1 Roto matrimonio de la bomba

Sub división mecanismo de falla:

1.3 Tolerancia/falla de alineación entre ejes (1 Falla mecánica como mecanismo de falla)

La categoría de la sub división del mecanismo de falla y el mecanismo de falla ha sido tomado del Standar Internacional, Norma ISO 14224. Tabla B.2 ANEXO B

4.5.5 Fallas funcionales de la Bomba de Inyección



Figura 16-4: Power End y Fluid End
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Como puede observar en la figura 33, una bomba de inyección está compuesta por la caja de engranajes (power end) y la cabeza de inyección (head injector) llamado fluid end.

4.5.6 Fallas funcionales del Power End

FECHA	LOCACIÓN	SUBSIS TEMA	ID DEL EQUIP O	MODO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	CATEGORIA EVENTO	Sub división mecanismo de falla
21-abr.-15	SCY-19	BOMBA QUIMIC		Cambiar pasador roto del pis	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
5-abr.-15	SCY-19	BOMBA QUIMIC		Cambiar pasador roto de pist	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
1-abr.-15	SCY-19	BOMBA QUIMIC		Cambiar pasador roto de pist	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
6-abr.-15	SCY-19	BOMBA QUIMIC		Cambiar pasador roto de pist	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
11-ago.-15	SCY-28	BOMBA QUIMIC		Reemplazar pasador roto de	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
26-jun.-15	SCY-45	BOMBA QUIMIC		No inyecta, pasador roto	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	Falla funcional	2.6 Rotura
8-jul.-15	SCY-32	BOMBA QUIMIC		Roto pasador	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	Falla funcional	2.6 Rotura
11-jul.-15	SCY-05	BOMBA QUIMIC		Roto pasador de pistón	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
18-ago.-15	SCY-43	BOMBA QUIMIC		Arreglar regulador de pistón d	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
17-oct.-15	SCY-39	BOMBA QUIMIC		Pasador roto	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura

Se determinaron diez eventos de falla que provocaron pérdida de la función del sistema de inyección de químicos en los pozos Secoya (SCY-19/28/45/32/05/43/39), correspondientes a la caja de engranajes o power end.

El modo de fallo más común es la rotura de pasador que es un elemento mecánico que sirve de unión entre la caja de mecanismo y el plunger del fluid end.

Químicos comprometidos inhibidor de corrosión e inhibidor de incrustación.

Modo de falla:

1 Pasador roto

Sub división mecanismo de falla:

2.6 Rotura (2 Falla de material como mecanismo de falla)

La categoría de la sub división del mecanismo de falla y el mecanismo de falla ha sido tomado del Standar Internacional, Norma ISO 14224. Tabla B.2 ANEXO B

4.5.7 Fallas funcionales del Fluid End

FECHA	LOCACIÓN	SUBSIS TEMA	ID DEL EQUIP O	MODULO DE FALLO	NOMBRE DEL QUIMICO	CATEGORIA EVENTO	Sub división mecanismo de falla
8-may.-15	SCY-43	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	Falla funcional	6.2 Causas combinadas
10-may.-15	SCY-27	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	Falla funcional	6.2 Causas combinadas
13-may.-15	SCY-45	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
13-may.-15	SCY-03	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.2 Causas combinadas
25-jul.-15	SCY-01	CABEZAL INYE		No inyecta.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
14-may.-15	SCY-45	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
14-may.-15	SCY-03	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.2 Causas combinadas
10-jun.-15	SCY-01	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
2-may.-15	SCY-39	CABEZAL INYE		No inyecta / Destape de línea de succión(químico sucio) y válvulas		Falla funcional	5.2 Contaminación
1-may.-15	SCY-39	CABEZAL INYE		No inyecta / Destape de línea de succión(químico sucio) y válvulas		Falla funcional	5.2 Contaminación
7-may.-15	SCY-33	CABEZAL INYE		Fuga por piston y no inyecta	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	5.2 Contaminación
8-may.-15	SCY-33	CABEZAL INYE		Fuga por piston/ Cambio de	DEMULSIFICANTE D-97	Falla funcional	2.6 Rotura
8-may.-15	SCY-028	CABEZAL INYE		Fuga por pistón/ Ajuste de e	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
8-may.-15	SCY-043	CABEZAL INYE		Fuga por pistón/ Ajuste de e	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	2.6 Rotura
8-may.-15	SCY-10	CABEZAL INYE		No inyecta / Cambio de pa	DEMULSIFICANTE D-97	Falla funcional	2.6 Rotura
9-jun.-15	SCY-01	CABEZAL INYE		No inyecta la bomba.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
27-nov.-15	SCY-28	CABEZAL INYE		No inyecta.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido
27-jun.-15	SCY-43	CABEZAL INYE		No inyecta	INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN	Falla funcional	6.4 Desconocido
26-nov.-15	SCY-28	CABEZAL INYE		No inyecta.	INHIBIDOR DE CORROSIÓN L 27	Falla funcional	6.4 Desconocido

Se determinaron ciento cuarenta y siete (147) eventos de falla que provocaron perdida de la función del sistema de inyección de químicos en diversos pozos de Secoya, de los cuales detallamos tan solo una muestra como ejemplo.

El modo de fallo más común es: **no inyecta** la bomba.

Químicos comprometidos inhibidor de corrosión, inhibidor de incrustación y Demulsificante D- 97.

Modo de falla:

1 No inyecta la bomba

Sub división mecanismo de falla:

2.6 Rotura (2 Falla de material como mecanismo de falla)

5.1 Bloqueado/atascado (5 Influencia externa como mecanismo de falla)

5.2 Contaminación (5 Influencia externa como mecanismo de falla)

6.1 Causa no encontrada (6 Misceláneos como mecanismo de falla)

6.2 Causas combinadas (6 Misceláneos como mecanismo de falla)

6.4 Desconocido (6 Misceláneos como mecanismo de falla)

La categoría de la sub división del mecanismo de falla y el mecanismo de falla ha sido tomado del Standar Internacional, Norma ISO 14224. Tabla B.2 ANEXO B

4.6 Determinación de los modos de falla.

La determinación de los modos de falla está en función de los componentes que forman parte del sistema de inyección de químicos.

Tabla 4-4: Modos de fallo componentes bulk tank

Área	Modo de fallo
Bulk Tank/Acople roscado	Hilo de la rosca averiada
	Rotura del acople
	Acople mal seleccionado
Bulk Tank/Válvula principal	Válvula no cierra
	Válvula no abre
Bulk tank/Conectores	Hilo de la rosca averiada
Bulk tank/Mirilla de nivel	Rotura de vidrio
	Bases corroídas
	Pernos de sujeción oxidados
Bulk tank/Soporte metálico	Base corroídas

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 5-4: Modos de fallo componentes Panel de Control

Área	Modo de fallo
Panel de Control	Desenergizado
	Breaker en mal estado
	Fusibles averiados
	Cables corto circuito
	Luces indicadoras averiadas
	Pulsadores averiado
	Cables flojos

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 6-4: Modos de fallo componentes Motor Eléctrico

Área	Modo de fallo
Motor Eléctrico	Ventilador averiado
	Rodamientos averiados
	Motor recalentado

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 7-4: Modos de fallo componentes Acople Mecánico

Área	Modo de fallo
Acople mecánico	Rotura de acople
	Acople flojo

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 8-4: Modos de fallo componentes bomba de inyección Power End

Área	Modo de fallo
Bomba de inyección/Power End	Pasador roto
	Tornillo de regulación averiado
	Mirilla de aceite averiada
	Bomba atascada
	Liqueo de aceite por retenedores
	Rodamientos averiados
	Ejes desalineados

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 9-4: Modos de fallo componentes bomba de inyección Fluid End

Área	Modo de fallo
Bomba de inyección/Fluid End	Liqueo por packing
	Desgaste de packing
	Plunger desgastado
	Presencia de aire en tuberías
	Daño de tornillo de purga
	O´ring succión y descarga averiados
	Válvulas Check tipo esfera averiadas

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 10-4: Modos de fallo Accesorios

Área	Modo de fallo
Accesorios	Conectores de succión y descarga flojos
	Piting en tuberías capilares para químico
	Tuberías capilares para químico obstruidas
	No hay lectura en indicador de presión
	Sobre presión
	Válvula PSV no actúa

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.7 Determinación de los efectos de falla.

Describen lo que sucede cuando ocurre un modo de fallo. Es importante no confundir efectos con consecuencias. Los efectos responden a la pregunta ¿Qué sucede?, mientras que la consecuencia responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

Aspectos a considerar (Efectos del fallo).

Tabla 11-4: Efectos Bulk Tank

Área	Modo de fallo	Efecto
Bulk Tank/Acople roscado	Hilo de la rosca averiada	Liqueo de químico
	Rotura del acople	Liqueo de químico
	Acople mal seleccionado	No se puede poner en operación el sistema
Bulk Tank/Válvula principal	Válvula no cierra	No es posible maniobras y control del flujo del químico
	Válvula no abre	No se tiene flujo de químico hacia las bombas
Bulk tank/Conectores	Hilo de la rosca averiada	Liqueo de químico
Bulk tank/Mirilla de nivel	Rotura de vidrio	Liqueo de químico
	Rotura de vidrio	No se puede verificar dosificación
	Bases corroídas	Liqueo de químico
	Bases corroídas	No se puede verificar dosificación
	Pernos de sujeción oxidados	No se dispone de soporte para la mirilla
Bulk tank/Soporte metalico	Base corroídas	Caída del bulk tank
	Base corroídas	Derrame de químico

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 12-4: Efectos Panel de Control

Área	Modo de fallo	Efecto
Panel de Control	Desenergizado	No se inyecta químico
	Breaker en mal estado	No se inyecta químico
	Fusibles averiados	Parte del circuito fuera de servicio
	Cables en corto circuito	No se inyecta químico
	Luces indicadoras averiadas	Falsa alarma
	Pulsadores averiado	No hay control
	Cables flojos	Operación intermitente

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 13-4: Efectos Motor Eléctrico

Área	Modo de fallo	Efecto
Motor Eléctrico	Ventilador averiado	Ruido
	Rodamientos averiados	Ruido
	Motor recalentado	Corto circuito estator y rotor

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 14-4: Efectos Acople Mecánico

Área	Modo de fallo	Efecto
Acople Mecánico	Rotura de acople	No hay transmisión de movimiento a la bomba de inyección
	Acople flojo	No hay transmisión de movimiento a la bomba de inyección

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 15-4: Efectos bomba de inyección Power End

Área	Modo de fallo	Efecto
Bomba de inyección/Power End	Pasador roto	No hay transmisión de movimiento desde la caja de engranajes hasta el plunger
	Tornillo de regulación averiado	No hay control en la dosificación
	Mirilla de aceite averiada	Consumo de aceite por reposición
	Bomba atascada	Bomba fuera de operación
	Liqueo de aceite por retenedores	Consumo de aceite por reposición
	Rodamientos averiados	Ruido
	Ejes desalineados	Fatiga rodamientos
	Ejes desalineados	Aumento de carga al motor
	Ejes desalineados	Aumento de temperatura del motor
	Ejes desalineados	Vibración
Ejes desalineados	Guardas de acople mecánico y pernos de anclaje flojos	

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 16-4: Efectos bomba de inyección Fluid End

Área	Modo de fallo	Efecto
Bomba de inyección/Fluid End	Liqueo por packing	Inyección de químico inadecuada
	Desgaste de packing	Inyección de químico inadecuada
	Plunger desgastado	Pérdida de eficiencia bomba y función de inyección
	Presencia de aire en tuberías	Cavitación
	Daño de tornillo de purga	Liqueo de químico
	Daño de tornillo de purga	No se puede purgar aire del interior de la cabeza de inyección
	O´ring succión y descarga averiados	No se puede inyectar químico
	Válvulas check tipo esfera averiadas	No se puede inyectar químico

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Tabla 17-4: Efecto Accesorios

Área	Modo de fallo	Efecto
Accesorios	Conectores de succión y descarga flojos	Liqueo de químico
	Piting en tuberías capilares para químico	Liqueo de químico
	Piting en tuberías capilares para químico obstruidas	Rotura del pasador por sobre presión
	No hay lectura en indicador de presión	Información incorrecta de parámetros de funcionamiento
	Sobre presión	Rotura de tuberías capilares y conectores
	Válvula PSV no actúa	Rotura de tuberías capilares y conectores

Fuente: Datos de Campo

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.8 Plan de mantenimiento sistema de inyección de químico

Al inicio del capítulo IV se mencionó que los factores que determinan el desempeño de los activos son: *el contexto operacional* que indica cómo será o es utilizado un activo y el *plan de mantenimiento* como será o es mantenido.

La propuesta del plan de mantenimiento para los sistemas de inyección de químicos, en islas de producción (pozos), una vez que se tiene conocimiento acerca de *contexto operacional*, contempla actividades complementarias que se debe tomar en consideración y además porque son ajenas al departamento de mantenimiento y necesarias para que se cumpla con lo planificado.

Las actividades complementarias contemplan entre otras cosas:

- Soldadura y corte de tuberías en protecciones de bomba-motor. Responsable Facilidades Ingeniería y Construcción (FIC)
- Limpieza de tanques de almacenamiento de químicos bulk tank. Responsable operaciones e ingeniería de corrosión
- Coordinación efectiva a fin de que las fechas de ejecución de mantenimiento de bombas de químico coincida con la programación de mantenimiento de equipos de superficie y motores eléctricos acoplados a dichas bombas, cuya responsabilidad es del departamento eléctrico de la Superintendencia de Mantenimiento.

Las tareas del mantenimiento para las bombas de químico de la planta de proceso, se encuentran establecidas mediante planes de trabajo (Job Plan). ANEXO C, una parte de estas actividades

se aplicarían en los planes de trabajo que se realizaran para el mantenimiento de bombas de químico de las islas de producción (pozos).

A continuación, se definen las tareas adicionales para el mantenimiento de las bombas de químico de las islas de producción. Estas actividades se realizarán de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de este tipo de bombas.

4.8.1 Instrucciones de operación

- Chequee regularmente el indicador de nivel de aceite, Ítem 5.
- Revise el exceso de fuga de producto químico alrededor de los prensaestopas. Si es imposible apretarlo, reemplace la empaquetadura. Si el pistón está averiado, reemplace el pistón y el empaque. Si se produce un fallo excesivo en la empaquetadura, consulte a su representante de fábrica.

4.8.2 Tasa de flujo

- Gire la perilla, ítem 55 en el sentido de las agujas del reloj para disminuir el flujo, en sentido anti horario para aumentar. Cada giro completo de la perilla da como resultado un cambio del 10% en el ajuste de la carrera. Cada ranura del husillo, número de artículo 56, es igual a 25% de cambio en el ajuste de carrera. Para ajustar la bomba mientras está parado, asegúrese de que el émbolo esté en la posición de avance total. La longitud máxima de la carrera es de 1”.

4.8.3 Reemplazo de los engranajes de desplazamiento de velocidad

- Cuando reemplace el engranaje de nylon de ajuste de la carrera, tienen que estar correctamente colocados en relación con la cruceta, y la perilla de ajuste de la carrera entre sí.
- Gire el acoplamiento del motor manualmente hasta que la cruceta 2, se mueva hacia delante hasta el lado de la carcasa en la que está montada la cabeza de inyección.
- Instale los engranajes pequeños y grandes, componentes 19 y 21, en su lugar, (remítase a las ilustraciones de la página 5 del catálogo de fabricante).
- Deje el tornillo de fijación, componente 23, en el engranaje grande, suelto por un momento. Los dos engranajes deben estar alineados en un punto y la rotación del engranaje grande

con la mano hará que el engranaje pequeño gire el engranaje grande en la dirección que hace que el engranaje pequeño se mueva hacia adelante hacia la cruceta, con el perno de ajuste ítem 16 y continuar el movimiento de giro hasta que el engranaje pequeño esté a nivel contra la cruceta

y continúe este movimiento de giro hasta que el engranaje pequeño esté nivelado contra la cruceta (sin movimiento).

- Ahora gire la perilla de ajuste de carrera, ítem 55, en el sentido de las agujas del reloj hasta que cubra la última ranura del husillo, luego apriete el ítem 23, el tornillo de ajuste, en el engranaje de nylon grande, usando una llave allen de 5/64". La bomba ahora está ajustada en la posición de carrera de descarga completa y todas las partes están en sus posiciones relativas correctas. Para hacer más ajustes en el caudal, vea la instrucción ajuste de la rata de flujo alrededor de 1/3 de la manera que se indica en la página 5 del manual de instrucciones del fabricante.

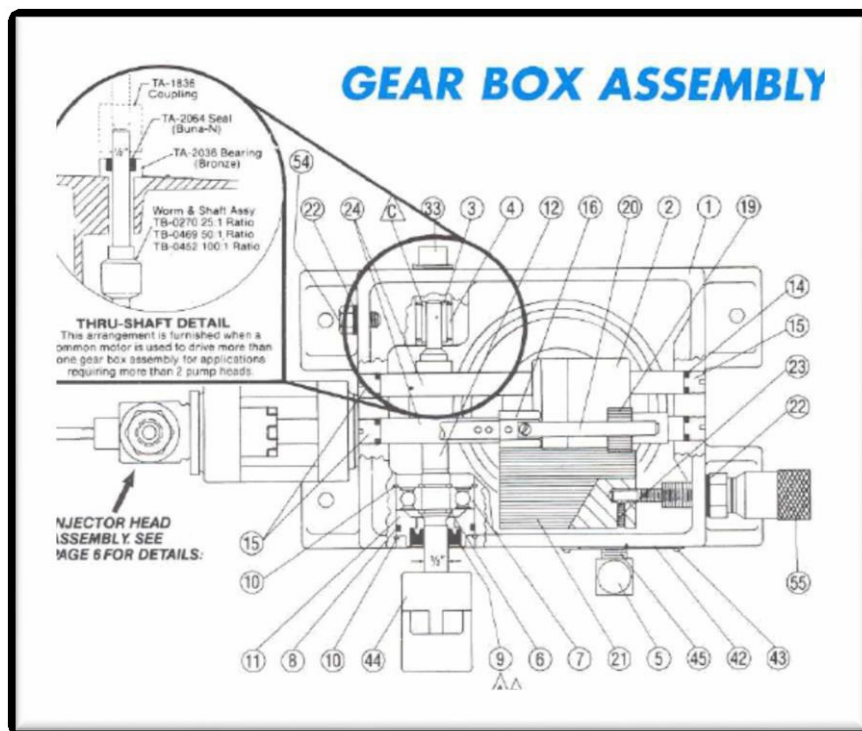


Figura 17-4: Caja de mecanismos Fuente: Catalogo del fabricante
Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

4.8.3.1 Desmontaje del mecanismo de potencia (Power End)

- Desconecte y retire la cabeza de la bomba de la unidad de potencia.
- Retire el ítem 21, engranaje grande de nylon, aflojando el punto 23, ajuste el tornillo con

una llave de aluminio de 5/64".

- Retire el ítem 15 retenedores de varilla y el ítem 14 anillos "O" ring de cada extremo de ítem 24 varillas de soporte.
- Usando el punzón apropiado, empuje las varillas de soporte por la parte delantera de la cruceta y por el lado opuesto de la caja de engranajes.

4.8.3.2 Retirar el ítem 28 del crosshead de engranaje

- Quitar la cabeza cruzada del artículo 2 y levantar el soporte del vástago del tornillo 27.

4.8.3.3 Retirar el ítem de desgaste 37 y el artículo 46 que lleva la caja de engranajes

- Retire el tapón ítem 36 de la parte inferior de la bomba.
- Retire el tornillo de cabeza hexagonal del ítem 48 y 49, arandela elástica
- Ítem 47 arandela de empuje inferior. Puede quitar el engranaje del tornillo sin fin
- 37 y el ítem 46 que se extienden a través de la parte superior del alojamiento ítem 1.
- Al reemplazar el perno de la rueda de engranaje, el ítem 30 está situado en su lugar apropiado, manteniendo el cojinete Ítem 46 en la alineación correcta.

4.8.3.4 Retirar el engranaje y el eje ítem 12

- Rodamiento del eje y / o sello de aceite artículo 9
- No es necesario quitar la cruceta, las barras guía o el engranaje helicoidal para extraer el eje de transmisión y sus componentes.

4.8.3.5 Inyector químico (Fluid End)

- Desconecte el acoplamiento flexible y quite el motor de la base. Si la unidad es equipada con un tanque contenedor en una base, es mejor remover la caja de cambios completa desde la base
- Inserte el punzón adecuado en el agujero en el extremo pequeño del eje del ítem 12 (extremo pequeño debajo del tapón del tubo del ítem 33). Cuidadosamente sacar el eje a través del lado opuesto de la carcasa. El lado del punzón debe ser pequeño, de modo que no se pueda conducir entre la carrera interior del ítem 3 (si es deseable retirar el cojinete de aguja 4 del ítem 4 y el punto 3 de la carrera interior, debe hacerse después de retirar el eje).
- A medida que se está vaciando el eje, se debe tener cuidado de ver que el engranaje de tornillo grande gire. Esto "camina" o desengancha los dientes del engranaje.

- A medida que el eje emerge, desde el lado de la carcasa, expulsará el elemento de sello de aceite ítem 9, el cartucho de estanqueidad ítem 11 y el elemento de cojinete de bolas 7.

4.8.3.6 Retirar el eje de la bomba.

- Para retirar el cojinete de bolas del eje 7, es necesario retirar uno o ambos elementos de truque.
- Al reemplazar se debe tomar cuidado para "caminar" los dos engranajes gastados todos juntos.
- Asegúrese de que los dos anillos de truarc están en su lugar: también el sello y la carcasa del sello están correctamente colocados (las caras del sello y el resorte de expansión del sello deben quedar en la bomba).
- Asegúrese de que el elemento de anillo 8 está en su lugar adecuado, el conjunto del eje debe insertarse en la bomba hasta que el elemento de cojinete de eje 7 se apoye contra el elemento de anillo circular 10 situados cerca del borde interior del orificio en el que se inserta el eje.

4.8.4 Cronograma de Mantenimiento

De la base de datos del sistema de gestión de mantenimiento Máximo Oil & Gas se recopiló información que servirá de punto de partida para elaborar el cronograma de mantenimiento de bombas de químico que están operando en islas de producción.

De acuerdo a la base de datos, está establecido un cronograma de mantenimiento para motores eléctricos acoplados a las bombas de químico, cuya frecuencia es bienal (cada 2 años).

Cumplir con el mantenimiento de los motores eléctricos acoplados a las bombas representa un tiempo de parada del sistema de inyección de químicos, de aproximadamente dos horas sin considerar el tiempo que representa disponer de un equipo de suelda para cortar las tuberías de protección y realizar las tareas de mantenimiento programado, una vez terminado el mantenimiento de igual manera se necesita del equipo de suelda para volver a soldar las tuberías que inicialmente se cortaron y que sirven de protección contra actos de vandalismo y hurto de los motores y bombas de químico ya que allí no existe seguridad privada.

En la siguiente figura se muestra la programación del mantenimiento para los años 2016, 2017 y 2018 a los motores eléctricos cuya responsabilidad es de la sección eléctrica.

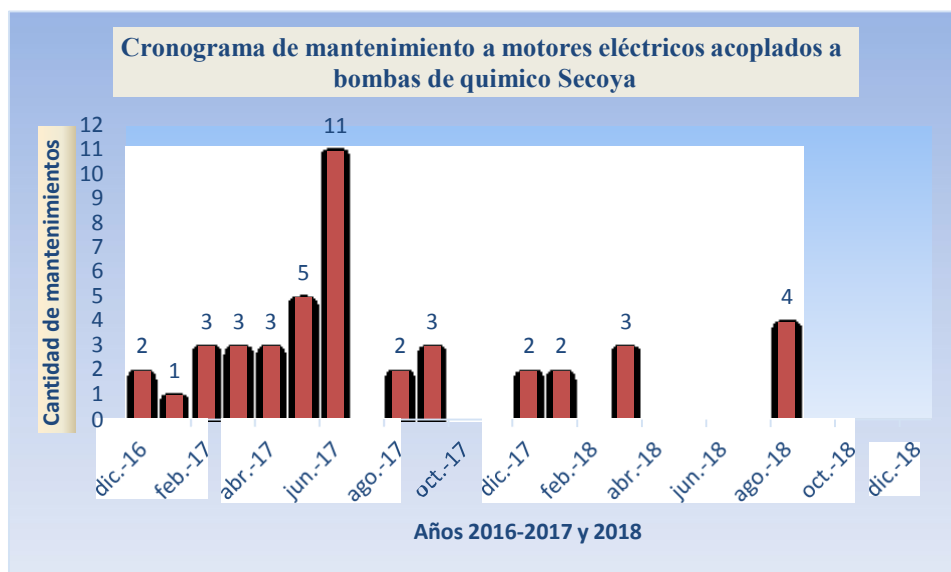


Figura 18-4: Cronograma de mantenimiento de motores eléctricos

Fuente: Máximo oil & gas

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

De acuerdo a la programación para el año 2017, se puede observar una sobrecarga de trabajo en el mes de junio con un total de 11 mantenimientos, mientras que en los meses de julio, octubre y noviembre, no hay mantenimientos programados.

Es motivo de análisis y coordinación de la sección instrumentación y eléctrica para revisión de la programación y se haga una redistribución equitativa de la carga de trabajo y mantenimiento del grupo motor-bomba de químico, de esta manera la sección de instrumentación incorporaría el cronograma de mantenimiento para las bombas de químico y además se optimizan recursos y tiempo a su vez que se realizaría una sola parada del sistema de inyección de químicos.

Continuando con el análisis de los datos del programa de mantenimiento de la sección eléctrica, en la siguiente figura se indica la programación de mantenimiento a los equipos de superficie, tales como, variadores de frecuencia, transformadores y paneles de control, realizar el mantenimiento a estos equipos tiene impacto significativo a la producción, porque es necesario desenergizar los equipos para realizar las tareas de mantenimiento.

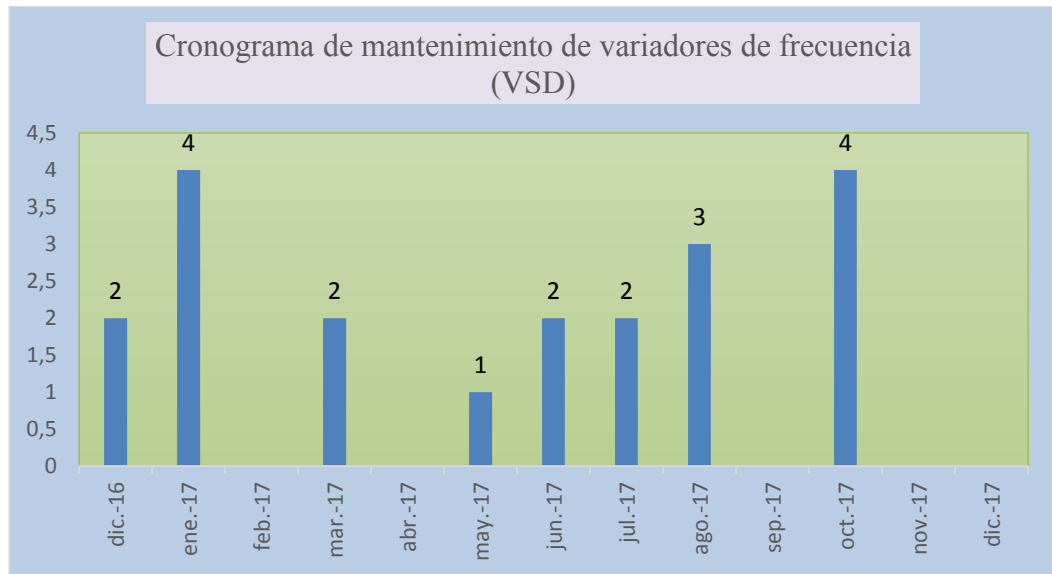


Figura 19-4: Cronograma de mantenimiento de Variadores de frecuencia

Fuente: Máximo oil & gas

Realizado por: Mancero, Ernesto, 2017

Esta es otra alternativa que tiene la sección instrumentación para proponer su programa y cronograma de mantenimiento a las bombas de químico. Está sujeto a la coordinación efectiva y sincronización entre las secciones eléctricas e instrumentación. Desde el punto de vista técnico esta sería la mejor alternativa para la realización del mantenimiento de bombas de químico, siempre y cuando existan las debidas autorizaciones de parte de operaciones para apagar el o los pozos de una isla de producción.

4.8.4.1 Programación de mantenimiento eléctrico

Tabla 18-4: Programación equipos de superficie sección eléctrica

Description	Área	Job Plan	JP Description
DSP- 0025; PM ANUAL DEL ARRANCADOR BO MBAS DE QUÍMICO	CR-LI-MS	SCY-031-BES-SBBQ-01	PLAN ANUAL ARRANCADOR DIRECTO; BOMBAS DE QUÍMICOS (ABB/AICO)
MEL- 4233; PLAN BIENAL DEL MOTOR ELÉCTRI CO 1/4 HP	CR-LI-MS	SCY-031-BES-SBBQ-02	PLAN BIENAL MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO; A COPLADO A BQ
SDT- 0296; PM ANUAL DEL TRANSFORMADOR 520 kVA	CR-LI-MS	SCY-031-BES-SBES-01	PLAN ANUAL TRANSFORMADOR REDUCTOR; TRI FÁSICO (BUSHING EXPUESTOS)
SUT-0046; PM ANUAL DEL TRANSFORMADOR 520 kVA	CR-LI-MS	SCY-031-BES-SBES-01	PLAN ANUAL TRANSFORMADOR ELEVADOR; MU LTIFRECUENCIAL (MULTITAP)
VSD- 0376; PM ANUAL DEL VARIADOR DE FRE CUENCIA 518 kVA	CR-LI-MS	SCY-031-BES-SBES-01	PLAN ANUAL VARIADOR DE FRECUENCIA SIMPL E GABINETE; SLB

Fuente: Programación equipos de superficie sección
eléctrica Elaborado por: Máximo Oil & Gas

CONCLUSIONES

- La conformación de un grupo multidisciplinario o grupo natural de trabajo integrado por personal de los departamentos de operaciones y mantenimiento permitió llevar a cabo la socialización a cerca de los beneficios que ofrece el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), proceso que cubre las expectativas tanto de operación como de mantenimiento de los activos de la empresa.
- La implementación de un Formulario por parte de instrumentación permitirá disponer de información que refleje la realidad operacional y de mantenimiento en los sistemas de inyección de químicos.
- Se aplicaron los criterios y recomendaciones de la Norma SAE-JA-1011, para la propuesta del plan de mantenimiento de los sistemas de inyección de químicos de los pozos, donde se definió el contexto operacional, el cual indica la forma como será utilizado un activo. Se definieron también las funciones primarias y secundarias o el estándar mínimo de funcionamiento solicitado por el usuario para estos sistemas.
- Existe el compromiso entre la supervisión de instrumentación e Ingeniería de Gestión de Activos para que la información ingresada al sistema de administración del mantenimiento Máximo Oil & Gas, sea de calidad, la cuál será revisada y validada trimestralmente, con conocimiento de la Superintendencia de Mantenimiento del Bloque 57 Libertador.
- Los cálculos realizados determinaron confiabilidades entre el 14 y 92%, para un periodo de operación de 720 horas.
- En la demostración de la hipótesis se confirma que la determinación y aplicación de indicadores de clase mundial, mejora la confiabilidad operacional.

RECOMENDACIONES

- Revisión del cronograma de mantenimiento para equipos de superficie, incluido motores eléctricos acoplados a bombas de químico, para la sincronización de fechas de ejecución del mantenimiento propuesto a los sistemas de inyección químico. Esta revisión se deberá realizar con la supervisión eléctrica, supervisión de instrumentación e ingeniero de gestión de activos.
- Implementar un plan constante de capacitación acorde al up grade (actualizaciones) de los sistemas de inyección de químicos, para personal de mantenimiento y operaciones.
- Buscar alternativas de negocio con proveedores locales a fin de que las reposiciones de stock sean en función de la frecuencia y fallo que presentan estos sistemas.
- Fomentar el mejoramiento de la cultura de trabajo en equipo, entre operaciones y personal de mantenimiento a todo nivel para que surta efecto positivo la implementación de nuevas tecnologías de mantenimiento.
- Socializar con los departamentos de Facilidades Ingeniería y Construcciones (FIC) la propuesta del plan de mantenimiento a ejecutarse en el próximo año 2017, dado que es necesario la participación de un grupo humano con equipo de suelda, para retiro y suelda de la protección metálica de las bombas y motores.
- La Confiabilidad Humana es uno de los parámetros operativos que determinan el mejoramiento de la CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE UN ACTIVO, por lo que se recomienda a las autoridades tanto de PETROAMAZONAS EP como de los centros de formación profesional, tener en cuenta como temas de investigación, ya que el actuar del ser humano en las operaciones de cualquier empresa es vital e importante.

BIBLIOGRAFÍA

DURÁN, José. Bernardo. (2000). ¿Qué es Confiabilidad Operacional?. Revista N° 2. Caracas - Venezuela. The Woodhouse Partnership Ltd. pp. 1 – 4.

[Consulta: 2016/06/17]

<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/2quees.pdf>

ECUADOR. INTEROC. (2015). Boletín Técnico, Escalcontrol D, Inhibidor de Incrustación. Guayaquil, Ecuador. p. 1. [PDF].

[Consulta: 2016/05/05]

ECUADOR. INTEROC. (2015). Hoja de Seguridad, Corcontrol B, Inhibidor de Corrosión. Guayaquil, Ecuador. pp. 1-2. [PDF].

[Consulta: 2016/05/05]

ESPAÑA. Librería HOR DAGO. (1999). AMFE Analisis modal de fallos y efectos. Diputación Foral de Bizkaia Vizcaya España. p. 7[en línea]

[Consulta: 2017/08/10]

<https://es.scribd.com/doc/2935466/AMEF-Analisis-Modal-de-Fallas-yEfectos>

ESTADOS UNIDOS. DRESSER Industrial Products Group (2006). Series 4300 Electric Drive Chemical Injector. Houston, Texas, Estado Unidos. pp. 1-7. [PDF]

[Consulta: 2016/05/05]

<http://up-s.com/txt/pdf/series4300.pdf>

ESTADOS UNIDOS. FLOMORE. (s.f.) Series 4400 Chemical Injector. Odessa, Estados Unidos. pp. 1-12. [PDF].

[Consulta: 2016/05/05]

http://www.flomore.com/wp-content/uploads/1.7_4400-Brochure.pdf

MOUBRAY, JOHN. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Segunda Edición en Español. 6 Deerfield Rd, Asheville, North Carolina, 28803, USA. Aladon LLC. pp. 6-115

[Consulta: 2016/06/17]

MOUBRAY, JOHN. (2015). El camino hacia el RCM-Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. [trad.] Carlos Mario Pérez J. Medellin Colombia. SOPORTE & CIA LTDA. Artículo completo [En línea].

[Consulta: 2016/11/20]

<http://myslide.es/documents/que-es-rcm.html>

NORMA ISO 14224. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and*

exchange of reliability and maintenance data for equipment. pp.115-116. [PDF]

NORMA SAE-JA-1012. Society of Automotive Engineers Inc. *Guia para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).* USA,400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001 2002, p. 5)

SESIÓN 22. Analisis de Fiabilidad de Equipos. [Documento PDF en línea]. pp. 8 - 13.

[Consulta: 2017/06/13]

<https://sistemasmanufactura.files.wordpress.com/2011/05/sesion-22.pdf>

SEXTO, LUIS FELIPE. (2014). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).* Maestria de Gestion del Mantenimiento Industrial. Modulo XI. ESPOCH-IPEC. Riobamba, Ecuador. pp. 7,8,20,21,32-36,40,47,61,79.

[Consulta: 2016/11/01]

SEXTO, LUIS FELIPE. (2014). *Ingeniería de la Fiabilidad.* Maestria de Gestion del Mantenimiento Industrial. Modulo. ESPOCH-IPEC. Riobamba, Ecuador. pp. 29-30.

[Consulta: 2016/11/01]

VENEZUELA. (2000). The Woodhouse Partnership Ltd. *Revista para los gestores del mantenimiento de distribución masiva y gratuita. Club de mantenimiento.* pp. 7. [PDF]

VENEZUELA. SUPLIEQUIP SERVICIOS. *Sistemas de Inyección y Muestreo.* Maracaibo, Zulia. Venezuela. pp. 1-4. [PDF].

[Consulta: 2016/09/05]

<http://supliequip.com/pdf/Introduccion.pdf>

El camino hacia el RCM. reliabilityweb.com. Medellin Colombia. Artículo completo [En línea].

[Consulta: 2016/10/17]

<http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm>

BENEFICIOS DEL PRODUCTO

- Producto más concentrado por lo que se proporciona un mejoramiento en el costo – beneficio debido a las cantidades utilizadas para prevenir incrustaciones.
- Debido al pH del producto la alimentación no requiere materiales especiales.
- Estable a temperaturas superiores a 250°F y totalmente compatible con las aguas de formación.
- Controla incrustaciones de Carbonato de Calcio y Sulfato de Calcio.

USOS PRINCIPALES

El **ESCALCONTROL D**, es utilizado para prevenir la depositación de incrustaciones debido a su alto grado de inhibición sobre la formación de cristales de carbonatos y sulfatos; se puede utilizar en sistemas de inyección de agua, pozos productores.

Es estable a temperaturas superiores a 250°F y es extremadamente efectivo desde el punto de vista de costos, ya que inhibe incrustaciones a dosis muy bajas..

ESPECIFICACIONES

PARÁMETRO	RANGO
pH (25°C)	3.0 – 5.0
Densidad	1.025 – 1.15
Apariencia:	Líquido
Color	Ámbar tenue

DESCRIPCION GENERAL

El **ESCALCONTROL D** es un producto en base acuoso de ácido fosfonato poliamino. Si

sulfatos de calcio, sin embargo esto variará dependiendo del tipo de incrustación, de sólidos presentes y severidad del problema.

El **ESCALCONTROL D** puede ser alimentado directamente del tambor en que se suministra. Para mejores resultados, el producto debe ser inyectado de manera continua. Se puede también utilizar diluido en caso que sea necesario inyectar cantidades mínimas de producto. Dado que el **ESCALCONTROL D** es un producto neutralizado no debería ser un problema la forma de alimentación o el sitio de inyección del producto.

ALMACENAMIENTO

El **ESCALCONTROL D** es compatible con plasita 6000, caucho, polietileno, Neopreno, PVC, Hypalon, teflón, polipropileno, Buna N, Vinilo, plexiglás, Acero Inoxidable 316 y etileno propileno. NO debe ser utilizado con cobre, aluminio, bronce, acero dúctil, acero inoxidable 304, plasita 7122, plástico, viton o poliuretano.

MANIPULACIÓN

Antes de utilizar este producto favor leer la etiqueta y la hoja de seguridad para una completa información de manejo.

Tiempo de vida útil: 2 años

SUMINISTRO

El **ESCALCONTROL D** es suministrado en

desea obtener una descripción general de las propiedades físicas y químicas, favor referirse a la hoja de seguridad del producto.

Para el **ESCALCONTROL D** la dosis usualmente usada es 20 a 100 ppm en

la inhibición de incrustación de carbonatos
y

tambores plástico no retornables de 55
galones.

OBSERVACIONES

Para mayor información o asistencia, favor
contactar a su representante Interoc S.A.
más cercano.

**Para Emergencias Médicas o de
Transporte** relacionadas con productos
Interoc S.A. llame (respuesta las 24 horas)
a: **Interoc S.A.** en Guayaquil (04) 288-1662
Ext.: 247/173/174



HOJA DE
SEGURIDAD

PRODUCTO
**ESCALCONTROL
D**
Inhibidor de
Incrustaciones

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO: **ESCALCONTROL D**
 NOMBRE DE LA MATRIZ: Interoc S.A.
 TELEFONOS DE EMERGENCIA: Guayaquil: (4) 2 881662 ext: 247/173/174

IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA:
 Interoc S.A. Calle tercera 401 y Dátiles (Urdesa Central – Guayaquil – Ecuador)

HMIS III

PRODUCTO:
ESCALCONTROL D

SALUD HEALTH	/	1
INFLAMABLE FLAMMABILITY	0	
PELIGRO FÍSICO PHYSICAL HAZARD	0	
PROTECCIÓN PERSONAL PERSONAL PROTECTION	H	

ÓRGANOS OBJETIVO

Garganta	Ojos	Cerebro (Sistema SNC)	Riñones	Hígado	Sistema Respiratorio	Sistema Reproductivo	Piel

PELIGROS FÍSICOS

Gases Comprimidos	Oxidantes	Reactivo Inestable	Inflamable	Explosivos	Corrosivos	Reactivo con agua	Peróxido

0 = Insignificante 1 = Leve 2 = Moderado 3 = Alto 4 = Extremo

Interoc S.A. Calle tercera 401 y Dátiles (Urdesa Central – Guayaquil – Ecuador)
 OTROS:

PRODUCTO
ESCALCONTROL
D
Inhibidor de
Incrustaciones**2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES**

Sustancia

Preparado: X

Nuestra evaluación del peligro ha identificado los siguientes ingredientes químicos como peligrosos según OSHA 29 CFR 1910.1200.

INGREDIENTES PELIGROSO	No. CAS	% PESO
Fosfonato poliamino	34690-00-1	25 - 35
Metoxipropilamina	5332-73-0	2 - 6

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS****DESCRIPCIÓN DE EMERGENCIA****

CONTACTO CON LOS OJOS: Sólo ligeramente irritante para los ojos.

CONTACTO CON LA PIEL: Sólo ligeramente irritante para la piel. Sólo ligeramente tóxico si se absorbe.

INHALACIÓN: No hay información disponible.

INGESTIÓN: No es tóxico si se ingiere. Efectos adversos significativos sobre la salud no se esperan cuando una pequeña cantidad (menos de un bocado) se ingieren

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

EN LOS OJOS: Los primeros auxilios no es probable que se requiera, este material puede ser removido con agua

EN LA PIEL: Los primeros auxilios no es probable que se requiera, este material se puede quitar con jabón y agua. Lavar la ropa muy contaminada antes de reutilizarla.

SI SE INHALA: primeros auxilios inmediatamente no es probable que se requiera. Si se presentan síntomas, trasladar al aire libre.

EN CASO DE INGESTIÓN: primeros auxilios inmediatamente no es probable que se requiera. Un médico o un centro de toxicología puede ser contactado para pedir consejo.

5. MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

MEDIOS DE EXTINCIÓN ADECUADOS:

Agua pulverizada, medios de extinción en seco, espuma, dióxido de carbono

Interroc S.A. Calle tercera 401 y Dátiles (Urdesa Central – Guayaquil – Ecuador)
INFORMACIÓN ADICIONAL:

El agua de extinción contaminada debe ser eliminada respetando las legislaciones locales

PRODUCTO
ESCALCONTROL
D
Inhibidor de
Incrustaciones

vigentes.

6. MEDIDAS PARA CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

CONTROL DE DERRAME Y RECUPERACIÓN:

Pequeños derrames líquidos: Contener con material absorbente, tal como arcilla, tierra o cualquier absorbente comercialmente disponible. Recoger el líquido y el absorbente dentro de un barril o tambor de recuperación para su eliminación.

Grandes derrames líquidos: Represar para prevenir mayores movimientos y recoger en tanques de recuperación para su eliminación.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

ALMACENAMIENTO:

Mantenga el recipiente bien cerrado cuando no esté en uso.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:

Protección de las manos:

Guantes de protección adecuados resistentes a productos químicos (EN 374) y también para un contacto directo y a largo plazo (recomendación: índice de protección 6; correspondiente a > 480 minutos de tiempo de permeabilidad según EN 374): por ej. de caucho de nitrilo (0.4 mm), caucho de cloropreno (0,5 mm), cloruro de polivinilo (0.7 mm), entre otros.

Protección de los ojos:

Gafas protectoras con protección lateral (gafas con montura) (EN 166)

Medidas específicas de Higiene:

Lavarse las manos y/o cara antes de las pausas y al finalizar el trabajo. Evítese el contacto con los ojos y la piel.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

COLOR: amarillo

ligero FORMA:

Líquido OLOR:

ligero

DENSIDAD: 1.025 – 1.150 kg/l

pH: 3.00 – 5.00

SOLUBILIDAD EN AGUA: Soluble

Interroc S.A. Calle tercera 401 y Dátiles (Urdesa Central – Guayaquil – Ecuador)

VISCOSIDAD: 15 CST @ 60 grados F ASTM D-44

PRODUCTO
ESCALCONTROL D
Inhibidor de Incrustaciones

Nota: Estas propiedades físicas son valores típicos para este producto y están sujetas a cambio.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA: No hay descomposición si se utiliza conforme a las instrucciones de uso.

REACCIONES PELIGROSAS: Durante el almacenamiento y manipulación, conforme con la reglamentación, no se presentan reacciones peligrosas.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

TOXICIDAD AGUDA:
DL50 rata (Por ingestión): > 2.000 mg/kg (Directiva 423 de la OCDE)

EFFECTOS LOCALES:
Irritación primaria en piel conejo: no irritante (Directiva 404 de la OCDE) Irritación primaria en mucosa conejo: no irritante (Directiva 405 de la OCDE)

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad Invertebrados acuáticos:
CE50 (48 h) > 100 mg/l, Daphnia magna (estático)

Persistencia y degradabilidad Indicaciones para la eliminación:
< 10 % Disminución de COD (carbono orgánico disuelto) (28 Días) (OCDE 301 A (nueva versión)) (aerobio, lodo activado, doméstico) Difícil degradación biológica.

13. CONSIDERACIONES PARA DESECHO

MÉTODOS DE DISPOSICIÓN SEGUROS Y AMBIENTALMENTE ADECUADOS.
Producto: Teniendo en consideración las disposiciones locales, debe ser depositado en p.ej. un vertedero o una planta incineradora adecuados.

Residuos de productos: Teniendo en consideración las disposiciones locales, debe ser depositado en p.ej. un vertedero o una planta incineradora adecuados.

Observar las legislaciones nacional y local.

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

No esta regulado para su transporte

PRODUCTO
ESCALCONTROL D
Inhibidor de Incrustaciones

15. REGULACIÓN DE USO

INFORMACIÓN DE PELIGROS Y SEGURIDAD DE ACUERDO A LO ESCRITO EN LA ETIQUETA

Directiva 1999/45/CE ('Directiva sobre preparados');

Según las Directivas de la CE, el producto no ha de ser etiquetado.

OTRAS REGLAMENTACIONES

Los datos cumplen los requerimientos de la Directiva 1999/45/CE sobre preparados y de la Directiva sobre 'Hojas de Datos de Seguridad'.

16. OTRA INFORMACIÓN

La información presentada aquí es exacta y confiable. El uso de esta información y las condiciones de uso del producto es responsabilidad del Cliente. No aceptamos responsabilidad legal por cualquier pérdida o daño ocasionado al cliente.

Sin embargo nuestro personal técnico estará complacido en responder preguntas relacionadas con los procedimientos de manejo y uso seguro.

Valores límites para sustancias químicas, agentes físicos e índices de exposición biológica, Conferencia Americana de la Industria Higiénica Gubernamental, OH.

Banco de Información de Sustancias Peligrosas. Biblioteca Nacional de Medicina, Bethesda, Maryland (versión para CD-ROM), Micrometex, Inc., Englewood, CO.

Monografías IARC en la Evaluación de los Riesgos Cancerígenos de Químicos en el Hombre, Ginebra:

Organización Mundial de la Salud, Agencia Internacional para la Investigación del cáncer.

Sistema Integrado de Información de Riesgo, U.S. Agencia de Protección del Medio Ambiente, Washington D.C.

(Versión para CD-ROM) Micrometex, Inc., Englewood.

Reporte Anual de Cancerígenos, Programa Nacional de Toxicología, U.S. Departamento de Salud y Recursos Humanos, Servicio de Salud Pública.

Título 29 del Código de Normas Federales, Parte 1910, Subparte 2, Sustancias tóxicas y Peligrosas, Seguridad Ocupacional y la Salud, Cincinnati, Ohio (Versión para CD-ROM), Micrometex, Inc., Englewood, CO.

Catálogo Shepard de Agentes Teratogénicos (versión para CD-ROM). Micrometex, Inc., Englewood, CO.

Libro de Recursos químicos sospechosos (una guía para químicos industriales cobijada bajo mayor regulación y programas de advertencia). Publicaciones Roytech (una división de la Corporación Ariel, Bethesda, MD.

Sistema de Información de Teratogénicos, Universidad de Washington, Seattle, Washington, (CD- ROM Versión)

Micrometex, Inc., Englewood, CO.

ANEXO B

Table B.2 — Failure mechanism

Failure mechanism		Subdivision of the failure mechanism		Description of the failure mechanism
Code number	Notation	Code number	Notation	
1	Mechanical failure	1.0	General	A failure related to some mechanical defect but where no further details are known
		1.1	Leakage	External and internal leakage, either liquids or gases: If the failure mode at equipment unit level is coded as "leakage", a more causally oriented failure mechanism should be used wherever possible.
		1.2	Vibration	Abnormal vibration: If the failure mode at equipment level is vibration, which is a more causally oriented failure mechanism, the failure cause (root cause) should be recorded wherever possible.
		1.3	Clearance/alignment failure	Failure caused by faulty clearance or alignment
		1.4	Deformation	Distortion, bending, buckling, denting, yielding, shrinking, blistering, creeping, etc.
		1.5	Looseness	Disconnection, loose items
		1.6	Sticking	Sticking, seizure, jamming due to reasons other than deformation or clearance/alignment failures
2	Material failure	2.0	General	A failure related to a material defect but no further details known
		2.1	Cavitation	Relevant for equipment such as pumps and valves
		2.2	Corrosion	All types of corrosion, both wet (electrochemical) and dry (chemical)
		2.3	Erosion	Erosive wear
		2.4	Wear	Abrasive and adhesive wear, e.g. scoring, galling, scuffing, fretting
		2.5	Breakage	Fracture, breach, crack
		2.6	Fatigue	If the cause of breakage can be traced to fatigue, this code should be used.
		2.7	Overheating	Material damage due to overheating/burning
		2.8	Burst	Item burst, blown, exploded, imploded, etc.
3	Instrument failure	3.0	General	Failure related to instrumentation but no details known
		3.1	Control failure	No, or faulty, regulation
		3.2	No signal/indication/alarm	No signal/indication/alarm when expected
		3.3	Faulty signal/indication/alarm	Signal/indication/alarm is wrong in relation to actual process. Can be spurious, intermittent, oscillating, arbitrary
		3.4	Out of adjustment	Calibration error, parameter drift
		3.5	Software failure	Faulty, or no, control/monitoring/operation due to software failure
		3.6	Common cause/mode failure	Several instrument items failed simultaneously, e.g. redundant fire and gas detectors; also failures related to a common cause.

Table B.2 (continued)

Failure mechanism		Subdivision of the failure mechanism		Description of the failure mechanism
Code number	Notation	Code number	Notation	
4	Electrical failure	4.0	General	Failures related to the supply and transmission of electrical power, but where no further details are known
		4.1	Short circuiting	Short circuit
		4.2	Open circuit	Disconnection, interruption, broken wire/cable
		4.3	No power/voltage	Missing or insufficient electrical power supply
		4.4	Faulty power/voltage	Faulty electrical power supply, e.g. overvoltage
		4.5	Earth/isolation fault	Earth fault, low electrical resistance
5	External influence	5.0	General	Failure caused by some external events or substances outside the boundary but no further details are known
		5.1	Blockage/plugged	Flow restricted/blocked due to fouling, contamination, icing, flow assurance (hydrates), etc.
		5.2	Contamination	Contaminated fluid/gas/surface, e.g. lubrication oil contaminated, gas-detector head contaminated
		5.3	Miscellaneous external influences	Foreign objects, impacts, environmental influence from neighbouring systems
6	Miscellaneous ^a	6.0	General	Failure mechanism that does not fall into one of the categories listed above
		6.1	No cause found	Failure investigated but cause not revealed or too uncertain
		6.2	Combined causes	Several causes: If there is one predominant cause this should be coded.
		6.3	Other	No code applicable: Use free text.
		6.4	Unknown	No information available

^a The data acquirer should judge which is the most important failure mechanism descriptor if more than one exist, and try to avoid the 6.3 and 6.4 codes.

ANEXO C

	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	Código:	4926
	PLAN DE TRABAJO	Fecha:	31/08/2015
		Revisión:	3
		Elaborado por:	FERNANDO TACURI
		Revisado por:	
	Distribución por: Intranet	Aprobado por:	Jefe de Mantenimiento

Cód. Plan : - - - -

Descripción del MTO: Frecuencia Estimada: Horas Horas Periodos Dias Meses

Descripción Equipo: Tiempo Estim. : Horas Directas Horas Indirectas

Fabricante: Personal : Supervisor h Especialidad: INS SEIP AS

Modelo: Técnicos h MES IMI

Arreglo: Varios Ayudantes h ELS PME

Tiempo total del Plan. : Horas (tareas directas + tareas indirectas) AE GPS

Area Afectación : Negocio Ambiente Necesidad Permiso trabajo.: Si No

Suministros y Repuestos

Itm.	Sumin.	Repuest	No. Parte	Item Masler	Descripción	Cant.	Un.
1	X		TA-2064	0000037042-1	RETENEDOR 3433	0 1	EA
2	X		TA-2285	0000055692-1	RODAMIENTO DE BOLA	0 1	EA
3	X		TA-2580	0000010910-1	O-RING 3/8 X 1/16 IN VITON	0 1	EA
4	X		TB-1175	0000020205-1	PLUNGER 1/4 X 6-11/16 IN	0 1	EA
5	X		TB-1176	0000020058-1	PLUNGER 3/8 X 6-11/16 IN	0 1	EA
6	X		TB-1177	0000019845-1	PLUNGER 1/2 X 6-11/16 IN	0 1	EA
7	X		TA-1461	0000021477-1	PACKING NITRILE 1/4 IN	0 1	EA
8	X		TA-1456	0000001226-1	PACKING NITRILE 3/8 X 0.27 IN	0 1	EA
9	X		TA-0959	0000021581-1	PACKING NITRILE 1/2 IN	0 1	EA
10	X		98-58R-20	0000078878-1	VIDRIO PARA MIRILLA 5/8 X 20 IN	0 1	EA
11	X		TA-1653	0000024868-1	COUPLING;1/2X5/8in. CS.TA-1653,DRESSER	0 1	EA
12	X				ACEITE 40	0 1	LT

Máquinas y Herramientas especiales

Itm.	Maquina	Herram.	Descripción	Cant.	Un.	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Instrucciones y Recomendaciones de Seguridad

TAREAS DIRECTAS (Instrucciones)		Tiempo Directa (HRS)	Tiempo Indirectas (HRS)
10	OBTENCIÓN Y APROBACIÓN DE PERMISO DE TRABAJO		0:15
20	OBTENCIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS		0:30
30	MOVILIZACIÓN AL SITIO DE TRABAJO		
40	PLANIFICAR CON EL OPERADOR DE PLANTA / ISLAS LA EJECUCIÓN Y ALCANCE DEL TRABAJO		0:15
50	INSPECCIÓN PREVIA Y APERTURA DEL PERMISO DE TRABAJO		0:15
60	DEJAR FUERA DE SERVICIO EL SISTEMA, INCLUYE APAGAR BOMBA(S)	0:05	
70	BLOQUEAR, COLOCAR TARJETAS DE AISLAMIENTO MECÁNICO EN VÁLVULAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA	0:05	
80	DESPRESURIZAR, DESCONECTAR, RETIRAR CAPILARES DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE LA(S) BOMBA (S)	0:10	
90	DESMONTAJE DE BOMBA (S) Y LIMPIEZA GENERAL	0:20	
100	CAMBIO DE RETENEDOR PARA ACEITE (SEGÚN CONDICIÓN)	0:20	
110	CAMBIO DE RODAMIENTO	0:20	
120	CAMBIO DE ACEITE	0:05	
130	MONTAJE DE BOMBA Y PINTURA SI LO REQUIERE	0:20	
140	LIMPIEZA Y CAMBIO DE ORING'S EN CHECK'S	0:20	
150	CAMBIO DE PLUNGER, PACKING EN CABEZAL DE BOMBA Y AJUSTE	0:30	
160	LIMPIEZA O CAMBIO DE VIDRIO EN MIRILLA DOSIFICADORA (BULL TANK)	0:15	
170	ASEGURAR UNIDAD DE SELLADO INCLUYE CAMBIO DE TEFLÓN EN ACCESORIOS Y CONEXIONES ROSCADAS	0:15	
180	ALINEACIÓN DE COUPLING	0:20	
190	LIMPIEZA DE CAPILARES DESDE LAS BOMBAS HACIA PUNTO DE INYECCIÓN (AIRE A PRESIÓN)	0:15	
200	VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE SEGURIDAD (SI DISPONE)	0:30	
210	CONECTAR CAPILARES EN EL CABEZAL DE LA BOMBA	0:10	
220	RETIRAR TARJETAS MECÁNICAS DE VÁLVULAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA	0:05	
230	PURGAR AIRE EN SUCCIÓN	0:05	
240	ARRANCAR EL EQUIPO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	0:15	
250	VERIFICAR DOSIFICACIÓN DE INYECCIÓN CONTINUA DE QUÍMICO	0:05	
260	LIMPIEZA DEL SITIO DE TRABAJO	0:10	
270	CIERRE O SUSPENSIÓN DE PERMISO DE TRABAJO		0:15
280	RETORNO A LA BASE		
290	LLENAR REPORTE O INFORME EN FORMATOS ESTABLECIDOS Y GESTIÓN DE OT EN MAXIMO		0:50
TOTAL		05:00	02:20
Total Job Plan		7:20	

Recomendaciones de Seguridad

DISPONER DE EPP

DISPONER DE MSDS

DOCUMENTOS HABILITANTES: PT, CATALOGOS

	Supervisor	Superintendente MTO	Coordinador Máximo
Firma:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fecha:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

DATOS PARA ELABORACIÓN DIAGRAMA DE PARETO				
Locacion	Frecuencia/e ventos	% Acumulado		80-20
SCY -43	31	8.3	8.33	80
SCY -28	26	15.3	6.99	80
SCY -45	22	21.2	5.91	80
SCY-01	21	26.9	5.65	80
SCY -44	21	32.5	5.65	80
SCY-03	20	37.9	5.38	80
SCY -05	18	42.7	4.84	80
SCY -08	18	47.6	4.84	80
SCY -27	18	52.4	4.84	80
SCY -31	17	57.0	4.57	80
SCY -32	16	61.3	4.30	80
SCY -37	16	65.6	4.30	80
SCY -42	15	69.6	4.03	80
SCY -17	13	73.1	3.49	80
SCY -22	12	76.3	3.23	80
SCY -39	12	79.6	3.23	80
SCY -19	10	82.3	2.69	80
SCY -49	10	84.9	2.69	80
SCY -10	8	87.1	2.15	80
SCY -33	8	89.2	2.15	80
SCY -24	7	91.1	1.88	80
SCY -23	5	92.5	1.34	80
SCY -29	5	93.8	1.34	80
SCY -11	4	94.9	1.08	80
SCY -14	4	96.0	1.08	80
SCY -20	4	97.0	1.08	80
SCY -38	4	98.1	1.08	80
SCY -30	3	98.9	0.81	80
SCY-04	1	99.2	0.27	80
SCY -15	1	99.5	0.27	80
SCY -36	1	99.7	0.27	80
SCY -48	1	100.0	0.27	80
Total eventos	372			

TIPO DE FALLA	
Fallas funcionales	fallas parciales
24	7
22	4
10	12
7	14
1	20
7	13
10	8
4	14
6	12
5	12
3	13
9	7
9	6
1	12
3	9
5	7
4	6
3	7
1	7
4	4
2	5
0	5
1	4
3	1
4	0
1	3
2	2
1	2
1	0
0	1
1	0
1	0

Submitted for recognition as an American National Standard

Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes

Foreword—Reliability-Centered Maintenance (RCM) was initially developed by the commercial aviation industry to improve the safety and reliability of their equipment. It was first documented in a report written by F.S. Nowlan and H.F. Heap and published by the U.S. Department of Defense in 1978. Since then, RCM has been used to help formulate physical asset management strategies in almost every area of organized human endeavor, and in almost every industrialized country in the world. The process defined by Nowlan and Heap served as the basis of various application documents in which the RCM process has been developed and refined over the ensuing years. Most of these documents retain the key elements of the original process. However the widespread use of the term “RCM” has led to the emergence of a number of processes that differ significantly from the original, but that their proponents also call “RCM.” Many of these other processes fail to achieve the goals of Nowlan and Heap, and some are actively counterproductive.

As a result, there has been a growing international demand for a standard that sets out the criteria that any process must comply with in order to be called “RCM.” This document meets that need.

The criteria in this SAE Standard are based upon the RCM processes and concepts in three RCM documents: (1) Nowlan and Heap's 1978 book, “Reliability-Centered Maintenance,” (2) US naval aviation's MIL-STD-2173(AS) (Reliability-Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment) and its successor, U.S. Naval Air Systems Command Management Manual 00-25-403 (Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process), and (3) “Reliability-Centered Maintenance (RCM 2),” by John Moubray. These documents are judged to be the most widely-accepted and widely-used RCM documents available.

This document describes the minimum criteria that any process must comply with to be called “RCM.” It does not attempt to define a specific RCM process.

This document is intended for anyone who wishes to ascertain whether any process that purports to be RCM is in fact RCM. It is especially useful to people who wish to purchase RCM services (training, analysis, facilitation, consulting, or any combination thereof).

SAE Technical Standards Board Rules provide that: “This report is published by SAE to advance the state of technical and engineering sciences. The use of this report is entirely voluntary, and its applicability and suitability for any particular use, including any patent infringement arising therefrom, is the sole responsibility of the user.”

SAE reviews each technical report at least every five years at which time it may be reaffirmed, revised, or cancelled. SAE invites your written comments and suggestions.

QUESTIONS REGARDING THIS DOCUMENT: (724) 772-8512 FAX: (724) 776-0243
TO PLACE A DOCUMENT ORDER; (724) 776-4970 FAX: (724) 776-0790
SAE WEB ADDRESS <http://www.sae.org>

TABLE OF CONTENTS

1.	Scope	2
1.1	Purpose	2
2.	References	2
2.1	Related Publications.....	2
2.1.1	SAE Publications.....	2
2.1.2	U.S. Department of Commerce Publications	3
2.1.3	U.S. Department of Defense Publications.....	3
2.1.4	Industrial Press Publication.....	3
2.1.5	U.K. Ministry of Defence	3
2.1.6	Other Publications	3
3.	Definitions	4
4.	Acronyms	6
5.	Reliability-Centered Maintenance (RCM)	6
5.1	Functions	6
5.2	Functional Failures	6
5.3	Failure Modes.....	6
5.4	Failure Effects.....	7
5.5	Failure Consequence Categories.....	7
5.6	Failure Management Policy Selection	7
5.7	Failure Management Policies—Scheduled Tasks	7
5.8	Failure Management Policies—One-Time Changes and Run-to-Failure	9
5.9	A Living Program.....	9
5.10	Mathematical and Statistical Formulae	10
6.	Notes	10
6.1	Keywords.....	10

1. Scope—This SAE Standard for Reliability Centered Maintenance (RCM) is intended for use by any organization that has or makes use of physical assets or systems that it wishes to manage responsibly.

1.1 Purpose—RCM is a specific process used to identify the policies which must be implemented to manage the failure modes which could cause the functional failure of any physical asset in a given operating context. This document is intended to be used to evaluate any process that purports to be an RCM process, in order to determine whether it is a true RCM process. This document supports such an evaluation by specifying the minimum criteria that a process must have in order to be an RCM process.

2. References

2.1 Related Publications—The following publications are provided for information purposes only and are not a required part of this document.

2.1.1 SAE PUBLICATIONS—Available from SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

SAE JA1012—A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM)

SAE JA1011 Issued AUG1999

- 2.1.2 U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE PUBLICATIONS—Available from NTIS, Port Royal Road, Springfield, VA 22161
Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, "Reliability-Centered Maintenance," Department of Defense, Washington, D.C. 1978. Report Number AD-A066579.
- 2.1.3 U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE PUBLICATIONS—Available from DODSSP, Subscription Services Desk, Building 4/Section D, 700 Robbins Avenue, Philadelphia, PA 19111-5098
MIL-STD 2173(AS)—"Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment" (U.S. Naval Air Systems Command)
NAVAIR 00-25-403—"Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process" (U.S. Naval Air System Command)
MIL-P-24534—"Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation" (U.S. Naval Sea Systems Command)
S9081-AB-GIB-010/MAINT—"Reliability-Centered Maintenance Handbook" (U.S. Naval Sea Systems Command)
- 2.1.4 INDUSTRIAL PRESS PUBLICATION—Available from Industrial Press, Inc., 200 Madison Avenue, New York City, New York, 10016 (also available from Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, Great Britain OX2 8DP).
Moubray, John, "Reliability-Centered Maintenance," 1997
- 2.1.5 U.K. MINISTRY OF DEFENCE PUBLICATION—Available from Reliability-centred Maintenance Implementation Team, Ships Support Agency, Ministry of Defence (Navy), Room 22, Block K, Foxhill, Bath, BA1 5AB United Kingdom.
NES 45—Naval Engineering Standard 45, "Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels" (Restricted-Commercial)
- 2.2 Other Publications**—The following publications were consulted in the course of developing this SAE Technical Report and are not a required part of this document.
Anderson, Ronald T. and Neri, Lewis, "Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods," Elsevier Applied Science, London and New York, 1990
Blanchard, B.S., Verma, D., and Peterson, E.L., "Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management," John Wiley and Sons, New York, 1995
"Dependability Management—Part 3-11: Application Guide—Reliability Centred Maintenance," International Electrotechnical Commission, Geneva, Document No. 56/651/FDIS.
Jones, Richard B., "Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach," Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1995
MSG-3, "Maintenance Program Development Document," Air transport Association, Washington DC, Revision 2 1993
"Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis," Department of Defense, Washington, DC, Military Standard MIL-DTD. 1629A, Notice 2, 1984
"Reliability Centered Maintenance for Aircraft, Engines, and Equipment," United States Air Force, MIL-STD-1843 (NOTE: Cancelled without Replacement, August 1995)
Smith, Anthony M., "Reliability Centered Maintenance," McGraw-Hill, New York, 1993
Zwinglestein, G., "Reliability Centered Maintenance, A Practical Guide for Implementation," Hermés, Paris, 1996

3. Definitions

- 3.1 Age**—A measure of exposure to stress computed from the moment an item or component enters service when new or re-enters service after a task designed to restore its initial capability, and can be measured in terms of calendar time, running time, distance traveled, duty cycles, or units of output or throughput.
- 3.2 Appropriate Task**—A task that is both technically feasible and worth doing (applicable and effective).
- 3.3 Conditional Probability of Failure**—The probability that a failure will occur in a specific period provided that the item concerned has survived to the beginning of that period.
- 3.4 Desired Performance**—The level of performance desired by the owner or user of a physical asset or system.
- 3.5 Environmental Consequences**—A failure mode or multiple failure has environmental consequences if it could breach any corporate, municipal, regional, national, or international environmental standard or regulation which applies to the physical asset or system under consideration.
- 3.6 Evident Failure**—A failure mode whose effects become apparent to the operating crew under normal circumstances if the failure mode occurs on its own.
- 3.7 Evident Function**—A function whose failure on its own becomes apparent to the operating crew under normal circumstances.
- 3.8 Failure Consequences**—The way(s) in which the effects of a failure mode or a multiple failure matter (evidence of failure, impact on safety, the environment, operational capability, direct, and indirect repair costs).
- 3.9 Failure Effect**—What happens when a failure mode occurs.
- 3.10 Failure-Finding Task**—A scheduled task used to determine whether a specific hidden failure has occurred.
- 3.11 Failure Management Policy**—A generic term that encompasses on-condition tasks, scheduled restoration, scheduled discard, failure-finding, run-to-failure, and one-time changes.
- 3.12 Failure Mode**—A single event, which causes a functional failure.
- 3.13 Function**—What the owner or user of a physical asset or system wants it to do.
- 3.14 Functional Failure**—A state in which a physical asset or system is unable to perform a specific function to a desired level of performance.
- 3.15 Hidden Failure**—A failure mode whose effects do not become apparent to the operating crew under normal circumstances if the failure mode occurs on its own.
- 3.16 Hidden Function**—A function whose failure on its own does not become apparent to the operating crew under normal circumstances.
- 3.17 Initial Capability**—The level of performance that a physical asset or system is capable of achieving at the moment it enters service.
- 3.18 Multiple Failure**—An event that occurs if a protected function fails while its protective device or protective system is in a failed state.

- 3.19 Non-Operational Consequences**—A category of failure consequences that do not adversely affect safety, the environment, or operations, but only require repair or replacement of any item(s) that may be affected by the failure.
- 3.20 On-Condition Task**—A scheduled task used to detect a potential failure.
- 3.21 One-Time Change**—Any action taken to change the physical configuration of an asset or system (redesign or modification), to change the method used by an operator or maintainer to perform a specific task, to change the operating context of the system, or to change the capability of an operator or maintainer (training)
- 3.22 Operating Context**—The circumstances in which a physical asset or system is expected to operate.
- 3.23 Operational Consequences**—A category of failure consequences that adversely affect the operational capability of a physical asset or system (output, product quality, customer service, military capability, or operating costs in addition to the cost of repair).
- 3.24 Owner**—A person or organization that may either suffer or be held accountable for the consequences of a failure mode by virtue of ownership of the asset or system.
- 3.25 P-F Interval**—The interval between the point at which a potential failure becomes detectable and the point at which it degrades into a functional failure (also known as “failure development period” and “lead time to failure”)
- 3.26 Potential Failure**—An identifiable condition that indicates that a functional failure is either about to occur or is in the process of occurring.
- 3.27 Protective Device or Protective System**—A device or system which is intended to avoid, eliminate, or minimize the consequences of failure of some other system.
- 3.28 Primary Function(s)**—The function(s) which constitute the main reason(s) why a physical asset or system is acquired by its owner or user.
- 3.29 Run-to-Failure**—A failure management policy that permits a specific failure mode to occur without any attempt to anticipate or prevent it.
- 3.30 Safety Consequences**—A failure mode or multiple failure has safety consequences if it could injure or kill a human being.
- 3.31 Scheduled**—Performed at fixed, predetermined intervals, including “continuous monitoring” (where the interval is effectively zero).
- 3.32 Scheduled Discard**—A scheduled task that entails discarding an item at or before a specified age limit regardless of its condition at the time.
- 3.33 Scheduled Restoration**—A scheduled task that restores the capability of an item at or before a specified interval (age limit), regardless of its condition at the time, to a level that provides a tolerable probability of survival to the end of another specified interval.
- 3.34 Secondary Functions**—Functions which a physical asset or system has to fulfill apart from its primary function(s), such as those needed to fulfill regulatory requirements and those which concern issues such as protection, control, containment, comfort, appearance, energy efficiency, and structural integrity.
- 3.35 User**—A person or organization that operates an asset or system and may either suffer or be held accountable for the consequences of a failure mode of that system.

4. **Acronyms**

4.1 **RCM—Reliability-Centered Maintenance**

5. **Reliability-Centered Maintenance (RCM)**—Any RCM process shall ensure that all of the following seven questions are answered satisfactorily and are answered in the sequence shown as follows:

- a. What are the functions and associated desired standards of performance of the asset in its present operating context (functions)?
- b. In what ways can it fail to fulfil its functions (functional failures)?
- c. What causes each functional failure (failure modes)?
- d. What happens when each failure occurs (failure effects)?
- e. In what way does each failure matter (failure consequences)?
- f. What should be done to predict or prevent each failure (proactive tasks and task intervals)?
- g. What should be done if a suitable proactive task cannot be found (default actions)?

To answer each of the previous questions “satisfactorily,” the following information shall be gathered, and the following decisions shall be made. All information and decisions shall be documented in a way which makes the information and the decisions fully available to and acceptable to the owner or user of the asset.

5.1 **Functions**

- 5.1.1 The operating context of the asset shall be defined.
- 5.1.2 All the functions of the asset/system shall be identified (all primary and secondary functions, including the functions of all protective devices).
- 5.1.3 All function statements shall contain a verb, an object, and a performance standard (quantified in every case where this can be done).
- 5.1.4 Performance standards incorporated in function statements shall be the level of performance desired by the owner or user of the asset/system in its operating context.

5.2 **Functional failures**—All the failed states associated with each function shall be identified.

5.3 **Failure modes**

- 5.3.1 All failure modes reasonably likely to cause each functional failure shall be identified.
- 5.3.2 The method used to decide what constitutes a “reasonably likely” failure mode shall be acceptable to the owner or user of the asset.
- 5.3.3 Failure modes shall be identified at a level of causation that makes it possible to identify an appropriate failure management policy.
- 5.3.4 Lists of failure modes shall include failure modes that have happened before, failure modes that are currently being prevented by existing maintenance programs and failure modes that have not yet happened but that are thought to be reasonably likely (credible) in the operating context.
- 5.3.5 Lists of failure modes should include any event or process that is likely to cause a functional failure, including deterioration, design defects, and human error whether caused by operators or maintainers (unless human error is being actively addressed by analytical processes apart from RCM).

5.4 Failure Effects

- 5.4.1 Failure effects shall describe what would happen if no specific task is done to anticipate, prevent, or detect the failure.
- 5.4.2 Failure effects shall include all the information needed to support the evaluation of the consequences of the failure, such as:
 - a. What evidence (if any) that the failure has occurred (in the case of hidden functions, what would happen if a multiple failure occurred)
 - b. What it does (if anything) to kill or injure someone, or to have an adverse effect on the environment
 - c. What it does (if anything) to have an adverse effect on production or operations
 - d. What physical damage (if any) is caused by the failure
 - e. What (if anything) must be done to restore the function of the system after the failure

5.5 Failure Consequence Categories

- 5.5.1 The consequences of every failure mode shall be formally categorized as follows:
 - 5.5.1.1 The consequence categorization process shall separate hidden failure modes from evident failure modes.
 - 5.5.1.2 The consequence categorization process shall clearly distinguish events (failure modes and multiple failures) that have safety and/or environmental consequences from those that only have economic consequences (operational and non-operational consequences).
- 5.5.2 The assessment of failure consequences shall be carried out as if no specific task is currently being done to anticipate, prevent, or detect the failure.

5.6 Failure Management Policy Selection

- 5.6.1 The failure management selection process shall take account of the fact that the conditional probability of some failure modes will increase with age (or exposure to stress), that the conditional probability of others will not change with age, and the conditional probability of yet others will decrease with age.
- 5.6.2 All scheduled tasks shall be technically feasible and worth doing (applicable and effective), and the means by which this requirement will be satisfied are set out in 5.7.
- 5.6.3 If two or more proposed failure management policies are technically feasible and worth doing (applicable and effective), the policy that is most cost-effective shall be selected.
- 5.6.4 The selection of failure management policies shall be carried out as if no specific task is currently being done to anticipate, prevent or detect the failure.

5.7 Failure Management Policies—Scheduled Tasks

- 5.7.1 All scheduled tasks shall comply with the following criteria:
 - 5.7.1.1 In the case of an evident failure mode that has safety or environmental consequences, the task shall reduce the probability of the failure mode to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

SAE JA1011 Issued AUG1999

- 5.7.1.2 In the case of a hidden failure mode where the associated multiple failure has safety or environmental consequences, the task shall reduce the probability of the hidden failure mode to an extent which reduces the probability of the associated multiple failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.1.3 In the case of an evident failure mode that does not have safety or environmental consequences, the direct and indirect costs of doing the task shall be less than the direct and indirect costs of the failure mode when measured over comparable periods of time.
- 5.7.1.4 In the case of a hidden failure mode where the associated multiple failure does not have safety or environmental consequences, the direct and indirect costs of doing the task shall be less than the direct and indirect costs of the multiple failure plus the cost of repairing the hidden failure mode when measured over comparable periods of time.
- 5.7.2 ON-CONDITION TASKS—Any on-condition task (or predictive or condition-based or condition monitoring task) that is selected shall satisfy the following additional criteria:
 - 5.7.2.1 There shall exist a clearly defined potential failure.
 - 5.7.2.2 There shall exist an identifiable P-F interval (or failure development period).
 - 5.7.2.3 The task interval shall be less than the shortest likely P-F interval.
 - 5.7.2.4 It shall be physically possible to do the task at intervals less than the P-F interval.
 - 5.7.2.5 The shortest time between the discovery of a potential failure and the occurrence of the functional failure (the P-F interval minus the task interval) shall be long enough for predetermined action to be taken to avoid, eliminate, or minimize the consequences of the failure mode.
- 5.7.3 SCHEDULED DISCARD TASKS—Any scheduled discard task that is selected shall satisfy the following additional criteria:
 - 5.7.3.1 There shall be a clearly defined (preferably a demonstrable) age at which there is an increase in the conditional probability of the failure mode under consideration.
 - 5.7.3.2 A sufficiently large proportion of the occurrences of this failure mode shall occur after this age to reduce the probability of premature failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.4 SCHEDULED RESTORATION TASKS—Any scheduled restoration task that is selected shall satisfy the following additional criteria:
 - 5.7.4.1 There shall be a clearly defined (preferably a demonstrable) age at which there is an increase in the conditional probability of the failure mode under consideration.
 - 5.7.4.2 A sufficiently large proportion of the occurrences of this failure mode shall occur after this age to reduce the probability of premature failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
 - 5.7.4.3 The task shall restore the resistance to failure (condition) of the component to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

5.7.5 FAILURE-FINDING TASKS—Any failure-finding task that is selected shall satisfy the following additional criteria (failure-finding does not apply to evident failure modes):

5.7.5.1 The basis upon which the task interval is selected shall take into account the need to reduce the probability of the multiple failure of the associated protected system to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

5.7.5.2 The task shall confirm that all components covered by the failure mode description are functional.

5.7.5.3 The failure-finding task and associated interval selection process should take into account any probability that the task itself might leave the hidden function in a failed state.

5.7.5.4 It shall be physically possible to do the task at the specified intervals.

5.8 Failure Management Policies—One-Time Changes and Run-to-Failure

5.8.1 ONE-TIME CHANGES

5.8.1.1 The RCM process shall endeavor to extract the desired performance of the system as it is currently configured and operated by applying appropriate scheduled tasks.

5.8.1.2 In cases where such tasks cannot be found, one-time changes to the asset or system may be necessary, subject to the following criteria.

5.8.1.2.1 In cases where the failure is hidden, and the associated multiple failure has safety or environmental consequences, a one-time change that reduces the probability of the multiple failure to a level tolerable to the owner or user of the asset is compulsory.

5.8.1.2.2 In cases where the failure mode is evident and has safety or environmental consequences, a one-time change that reduces the probability of the failure mode to a level tolerable to the owner or user of the asset is compulsory.

5.8.1.2.3 In cases where the failure mode is hidden, and the associated multiple failure does not have safety or environmental consequences, any one-time change must be cost-effective in the opinion of the owner or user of the asset.

5.8.1.2.4 In cases where the failure mode is evident and does not have safety or environmental consequences, any one-time change must be cost-effective in the opinion of the owner or user of the asset.

5.8.2 RUN-TO-FAILURE—Any run-to-failure policy that is selected shall satisfy the appropriate criterion as follows:

5.8.2.1 In cases where the failure is hidden and there is no appropriate scheduled task, the associated multiple failure shall not have safety or environmental consequences.

5.8.2.2 In cases where the failure is evident and there is no appropriate scheduled task, the associated failure mode shall not have safety or environmental consequences.

5.9 A Living Program

5.9.1 This document recognizes that (a) much of the data used in the initial analysis are inherently imprecise, and that more precise data will become available in time, (b) the way in which the asset is used, together with associated performance expectations, will also change with time, and (c) maintenance technology continues to evolve. Thus a periodic review is necessary if the RCM-derived asset management program is to ensure that the assets continue to fulfill the current functional expectations of their owners and users.

5.9.2 Therefore any RCM process shall provide for a periodic review of both the information used to support the decisions and the decisions themselves. The process used to conduct such a review shall ensure that all seven questions in Section 5 continue to be answered satisfactorily and in a manner consistent with the criteria set out in 5.1 through 5.8.

5.10 Mathematical and Statistical Formulae

5.10.1 Any mathematical and statistical formulae that are used in the application of the process (especially those used to compute the intervals of any tasks) shall be logically robust, and shall be available to and approved by the owner or user of the asset.

6. Notes

6.1 Key words—Condition-based maintenance, predictive maintenance, preventive maintenance, proactive maintenance, RCM, reliability centered maintenance, scheduled maintenance

PREPARED BY THE SAE G-11 RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) SUBCOMMITTEE
OF THE SAE G-11 SUPPORTABILITY COMMITTEE

SAE JA1011 Issued AUG1999

Rationale—Not applicable.

Relationship of SAE Standard to ISO Standard—Not applicable.

Application—This SAE Standard for Reliability Centered Maintenance (RCM) is intended for use by any organization that has or makes use of physical assets or systems that it wishes to manage responsibly.

Reference Section

SAE JA1012—A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM)

Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, "Reliability-Centered Maintenance," Department of Defense, Washington, D.C. 1978. Report Number AD-A066579.

MIL-STD 2173(AS)—"Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment" (U.S. Naval Air Systems Command)

NAVAIR 00-25-403—"Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process" (U.S. Naval Air Systems Command)

MIL-P-24534—"Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation" (U.S. Naval Sea Systems Command)

S9081-AB-GIB-010/MAINT—"Reliability-Centered Maintenance Handbook" (U.S. Naval Sea Systems Command)

Moubray, John, "Reliability-Centered Maintenance," 1997

NES 45—Naval Engineering Standard 45, "Requirements for the Application of Reliability-Centred Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels" (Restricted-Commercial)

Anderson, Ronald T. and Neri, Lewis, "Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods," Elsevier Applied Science, London and New York, 1990

Blanchard, B.S., Verma, D., and Peterson, E.L., "Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management," John Wiley and Sons, New York, 1995

"Dependability Management—Part 3-11: Application Guide—Reliability Centred Maintenance," International Electrotechnical Commission, Geneva, Document No. 56/651/FDIS.

Jones, Richard B., "Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach," Gulf Publishing Company, Houston, TX, 1995

MSG-3, "Maintenance Program Development Document," Air transport Association, Washington DC, Revision 2 1993

"Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis," Department of Defense, Washington, DC, Military Standard MIL-DTD. 1629A, Notice 2, 1984

"Reliability Centered Maintenance for Aircraft, Engines, and Equipment, United States Air Force," MIL-STD-1843 (NOTE: Cancelled without Replacement, August 1995)

SAE JA1011 Issued AUG1999

Smith, Anthony M., "Reliability Centered Maintenance," McGraw-Hill, New York, 1993

Zwingelstein, G., "Reliability Centered Maintenance, A Practical Guide for Implementation," Hermés,
Paris, 1996

Developed by the SAE G11 Reliability Centered Maintenance (RCM) Subcommittee

Sponsored by the SAE G11 Supportability Committee

SERIES 4300

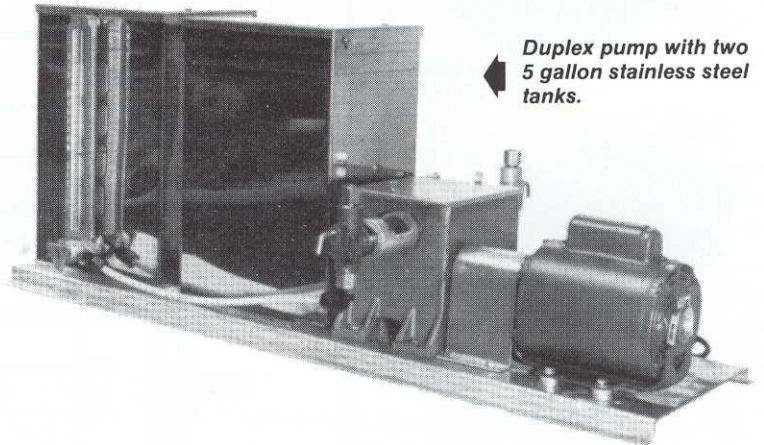
Adjustable While Running



TEXSTEAM

Fred C. Gilbert Co.
106 Norris Road
Bakersfield, Ca. 93308
661-399-9569
www.fcgilbert.com

Pump Catalog & Parts List



← Duplex pump with two 5 gallon stainless steel tanks.

Electric drive chemical injectors

FEATURES

- Integral gear drive and crosshead mechanism in heavy cast iron housing with an oil level sight gauge.
- Output gear of high strength alloy iron is supported in a sturdy special bearing arrangement for maximum rigidity to assure extremely long life.
- A special drip-ring feature on the plunger prevents chemical from being conducted into the gear box and contaminating the lubricant.
- Oil level gauge on gear box.
- A full gasket under the gear box cover provides a positive barrier against moisture, dirt, and corrosive vapors.
- Choice of liquid ends . . . all interchangeable.
- Multiplex models with up to 8 heads driven by a common motor are available.
- Stainless steel tanks
- Flow rate is adjustable while the pump is running.

DESCRIPTION

The series 4300 chemical injectors are electric motor driven, positive displacement pumps utilizing an integral worm gear drive available in three different standard ratios and 6 plunger sizes to provide a wide selection of volumes and pressures .063 GPD up to 325 GPD per head, against pressures from 150 to 5000 psig. An optional 10 to 1 gear reducer, mounted externally, is available for extra low pumping rates from 1¹/₄ gallons per day down to 1/2 pint per day.

Pumps are standard with a micrometer type stroke adjustment that puts an end to the tedious work of stopping and starting the pump while trying to set the proper flow rate. A 0-100% change in capacity is possible while the pump is running. Each complete turn of the knob results in a 10% change in stroke setting. Repeatable

accuracy is $\pm 1\%$ of set point. Up to eight heads driven by a common motor are possible, and each head can be independently adjusted.

The standard, virtually trouble free packed plunger injector heads have built-in priming valves and a drip-ring type barrier that will prevent chemicals from being conducted along the plunger and into the gear box. Standard pumps can be furnished with high strength ductile iron or all stainless steel liquid ends to handle a wide variety of chemicals used in oil and gas production facilities, pipelines, process plants and other applications where a rugged, easy to maintain proportioning pump is required. Special PVC plastic heads are also available for highly corrosive chemicals that can not be handled with the standard heads.

MODELS AVAILABLE

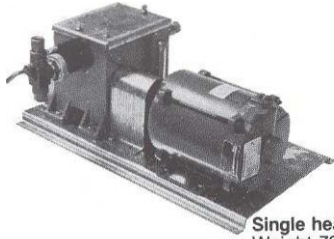
The Texsteam 4300 Series pump is gear-driven and utilizes an electric motor, as a power source. Power units (less tank) and chemical injectors (with tank, suction piping and flow rate gauge) are available with from one to eight pumping heads in a choice of gear ratios (25:1, 50:1 or 100:1) and plunger sizes (31/16", 1/4", 3/8", 1/2", 3/4" or 1"). Refer to the chart below to determine horsepower requirements for units with multi heads.

MODEL DESIGNATION:

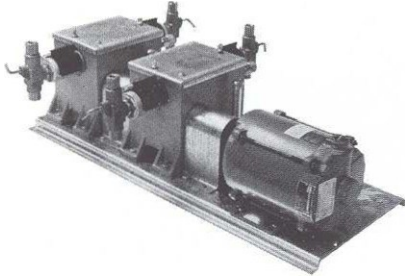
- Always specify plunger size when ordering as a double check
- / indicates Power Unit model (without chemical tank.) Absence of P indicates Chemical injector model with tank(s). SS
- Indicate number of Injector heads (2 through 8). Absence of Number indicates single head unit
- Indicate plunger size (1 is 1/16", 3 is 3/8", 4 is 1/4", 5 is 1/2", 6 is 3/4" and 7 is 1")
- Indicates gear ratio (0 is 50:1, 2 is 100:1, 3 is 25:1)



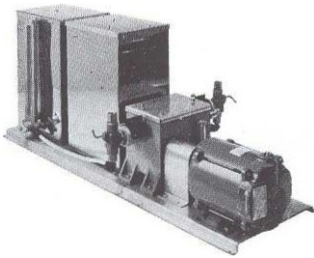
Single head power unit with 10:1 gear reducer for volumes down to 1/4 pint per day. Weight 90 pounds.



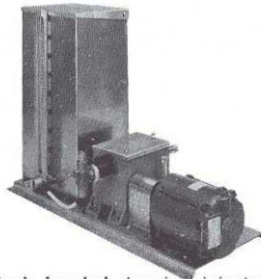
Single head power unit. Weight 70 pounds.



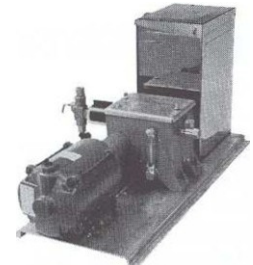
Four headed power unit. Up to 8 head max 1mm available. Weight 120 pounds - 4 headed unit. 270 pounds - 6 headed unit



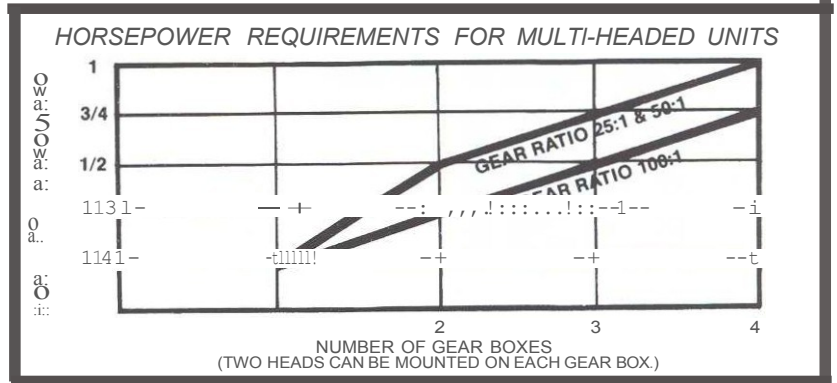
Double headed chemical injector with two 5 gallon SS tanks. Weight 110 pounds.



Single headed chemical injector with 10 gallon SS tank. Weight 105 pounds.

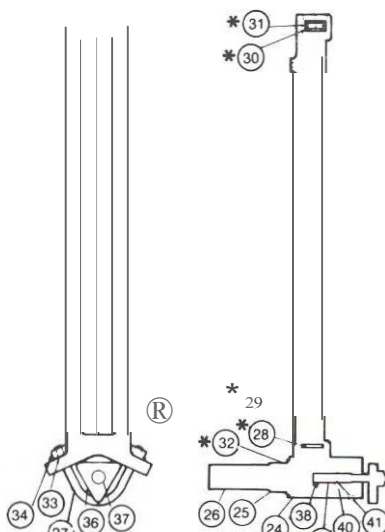
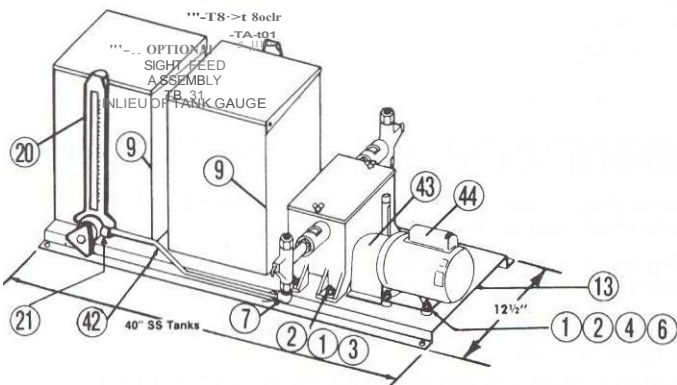
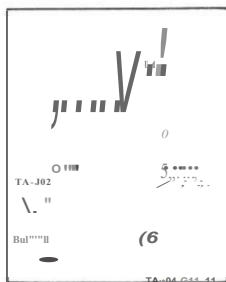
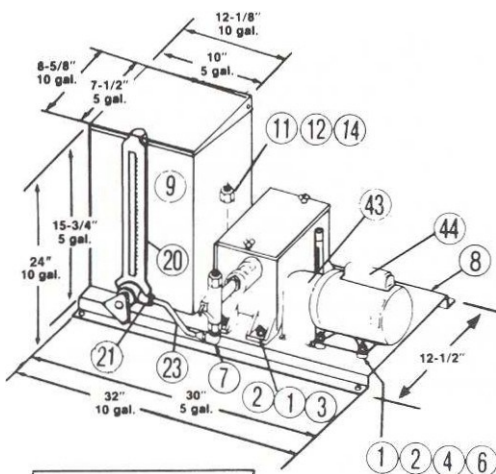
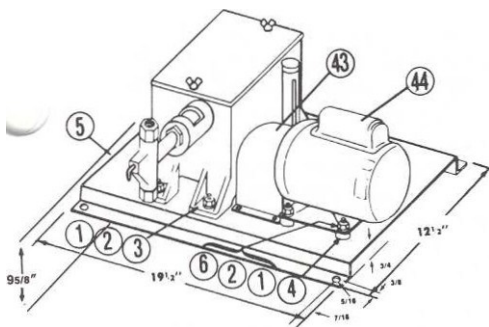


Single headed chemical injector with 5 gallon SS tank. Weight 90 pounds.



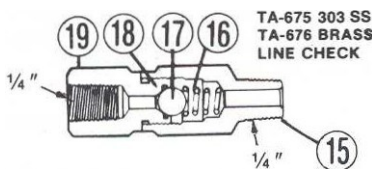
PLUNGER SIZE	MAXIMUM DISCHARGE PRESSURE	MIN.-MAX. VOLUME (Expressed in U.S. Gallons per day)											
		100:1 RATIO (17.5 SPM)			50:1 RATIO (35 SPM)			25:1 RATIO (70 SPM)					
		MIN.	MAX. GPD		MIN.	MAX. GPD		MIN.	MAX. GPD				
Single Head Units		Model No.	60 Hz Motor	50 Hz Motor	Model No.	60 Hz Motor	50 Hz Motor	Model No.	60 Hz Motor	50 Hz Motor			
3/16"	5000 #Hard Pkg. 3000 #Soft Pkg.	4324	.063	2.5	2.07	4304	.13	5	4.15	4334	.25	10	8.3
1/8"	2400 PSI	4321	.5	5	4.15	4301	1	10	8	4331	2	20	16.6
1/4"	1200 PSI	4323	1.2	12	9.96	4303	2.3	23	19.09	4333	4.6	46	38.18
3/8"	600 PSI	4325	2.1	21	17.43	4305	4.0	40	33.2	4335	8	80	66.4
1/2"	300 PSI	4326	4.6	46	38.0	4306	9.1	91	75.5	4336	18.2	182	151
1"	150 PSI	4327	8.1	81	67.5	4307	16.3	163	135.2	4337	32.5	325	269.7
Double Headed Units		Model No.				Model No.				Model No.			
1/2"	5000 #Hard Pkg. 3000 #Soft Pkg.	4324-2	.13	5	4.14	4304-2	.26	10	8.3	4334-2	.5	20	16.6
1/4"	2400 PSI	4321-2	1	10	8.3	4301-2	2	20	16.6	4331-2	4	40	33.2
1/8"	1200 PSI	4323-2	2.4	24	19.9	4303-2	4.6	46	38.18	4333-2	9.2	92	76.4
3/8"	600 PSI	4325-2	4.2	42	34.86	4305-2	8	80	66.4	4335-2	16	160	132.8
1/2"	300 PSI	4326-2	9.2	92	76.3	4306-2	18.2	182	151	4336-2	36.4	364	302.1
1"	150 PSI	4327-2	16.2	162	134.4	4307-2	32.6	326	270.5	4337-2	65.0	650	539.5

Gear box shall helghl Is 3W' from baH to center //ne of shall.11aFrame 48 Motor Is used.Four (4) TA-1741
1/16ms are required. A Frame 56 Motor can be mounted on base wllhoul sh.ms.



TB-871 TANK GAUGE
FOR 5 GALLON TANKS

•TB-874 Repair Kit Parts



PARTS LIST

ITEM	PART NO.	PART NAME	MATERIAL
1	TA-0164	Hex Nut	
2	TA-3303	Lockwasher W' Steel	
3	TA-0167	Cut Washer	
4	TA-1741	Soacer (48 frame motor only)	
5	TB-0437	Base 10 GauGalvanized Steel	
6	TA-0163	Cap Screw	
7	TA-3116	Elbow & Com. Q'lession Nut	
8	TB-0436	5 Gal. Tank & Pump Base	
	TC-0269	10 Gal. Tank & Pump Base	
	TA-0664	5 Gal. Chemical Tank 430 SS	
9	JA-2057	5 Gal. Chemical Tank 316 SS	
	TA-1539	10 Gal. Chemical Tank 304 SS	
11	TA-0425	Lockwasher	
12	TA-0300	Cutwasher	
13	TB-0431	Base for two 5 Gal. SS Tanks	
14	TA-0144	Hex Nut	
15	TA-0677	Brass Quier Body	
16	TA-0391	316 SS Spring	
17	TA-0054	316 SS Ball	
	TA-0479	1 Buna N O-ring	
>18	TA-2093	Viton O-ring	
19	TA-0678	Brass Inlet Body	
20	TB-0871	5 Gal. SS Tank Gauge Assembly	
	TB-1285	10 Gal. Tank Gauge AsselJ!!!Y	
21	TA-3118	Connector & Compression Nut	
23	TA-3161	Polvoroovlene Tube	
24	TA-3115	303 SS Valve Body	
25	TA-3104	303 SS Retainer Nut	
26	TA-3103	303 SS Strainer	
27	TA-3106	Cad Plated Steel U-bolll	
28	TA-21*1	Viton O-rina	
29	TA-3102	Glass Ga!!!lle	1 TB-874
30	TA-3101	Fiber Flat Washer	>- Gauge
31	TA-3100	303 SS Sorina	1 Repair Kit
32	TA-3199	Viton O-rina	J
33	TA-0577	Cad Plated Steel Washer	
34	TA-0164	Cad Plated Steel Nut	
35	TC-0393	Aluminum Frame	
36	TA-3112	Cad Plated Steel Valve Handle	
37	TA-0164	Cad Plated Steel Nut	
38	TA-3114	Valve Stem	
		316 SS Sorina	
	TA-3328	/03 SS Washer	
		TA-310L	Viton O-ring
	TA-31	Polypropylene Tube	
	TB-1167	Coupling Guard	

- TA-2266 X HP 1Ph 60Hz 115/230V O en DP
- TA-2271 X HP 3Ph 60Hz 230/460V Ooen DP
- 44 TA-2264 X HP 1Ph 60Hz 115/230V TEFC
- TA-2268 X HP 3Ph 60Hz 230/460V TEFC
- TA-2265 X HP 1Ph 60Hz,115/230V EX Proof
- TA-2271 X HP,3Ph,60Hz, 230/460V, Ex Proof

;; Recommended spare parts
NOTE:Ali motors are 1800 RPM

VOLUMETRIC CONVERSION FACTORS			
cc/se<:	x	0.95	= GPH
cc/min	x	0.016	= GPH
cc/hr	• x	0.00026	= GPH
liters/see	x	952.0	= GPH
liters/min	x	15.9	= GPH
liters/hr	x	0.264	= GPH
imperial GPM	x	72.0	= GPH
imperial GPH	x	1.20	= GPH
ml/sec	x	0.95	= GPH
ml/min	x	0.016	= GPH
ml/hr	x	0.00026	= GPH
m3/hr	x	264.2	= GPH

PRESSURE CONVERSION FACTORS			
KG/Sq CM	X	14.2	= PSIG
In.Hg	X	0.49	= PSIG
In.Water	X	0.036	= PSIG
Ft.of Water	X	0.43	= PSIG
Atmospheres	X	14.7	= PSIG
kPa (kilo Pascal)	X	0.1450	= PSIG
Mega Pa	X	145.0	= PSIG

|

INSTALLATION

1. Remove pump from carton and inspect for possible damage in transit from factory. The cardboard carton was designed especially for this pump. If the pump has been damaged in transit, file claim with the carrier.
2. Bolt holes are provided for a permanent mounting (see drawing for dimensions).
3. Remove the gear box lid and fill gear box with 1 1/2 quarts of a good grade of lubricant. The oil level should be maintained level with the top of the crosshead guide rods, item #24.
4. Adjust the stroke length to the desired volume. A full stroke length will pump the maximum volume as shown in the data sheet. For approximately 50% volume use a 1/2" stroke, etc.
5. Connect the suction line to pump head
 - a. If a reservoir is furnished with the pump, the suction line is already connected. fill the reservoir and open (all the way) the pump rate setting gauge valve, item #35. A strainer is furnished as a part of this unit.
 - b. If a power unit model (without tank) was purchased, a strainer should be piped into the suction line to prevent sand, rust or other particles from injuring the plunger and fouling the check valves.
6. Connect the discharge line. A 1/4" line check is provided with a 3/16", 1/4", 3/8" & 1/2" heads. This valve should be installed as close to the point of injection as possible. Note the arrow on the check valve indicates the direction of flow. The top connection on the pump head is the outlet and has a 1/4" female pipe thread connection.
7. Mount motor if pump was ordered less motor. The pump input shaft speed should not exceed 1800 RPM and will operate the pump in either direction of rotation (CW or CCW). After careful alignment with shaft coupling (furnished on all pumps), bolt motor securely in place. Shaft alignment is very important. Misalignment will cause the bearings in the motor and pump as well as the coupling to wear out. Shim the motor if necessary. To check free rotation turn motor and pump over by grasping the coupling and rotating. A minimum of 1/16" spacing should be allowed between coupling ends for expansion. The use of an overload protector in the motor circuit is recommended.
8. Install Item #16, priming valve (included with pump, but shipped loose in carton) on the pump head.
9. Start motor and prime the pump head by opening the priming valve. After the pump discharges fluid through the priming valve discharge without bubbles, slowly close the priming valve for normal operation. At this point make a visual check of the packing drip, and using the TA-315 gland wrench that is included in the package, slowly tighten the gland to prevent excess drippage and waste of chemicals. Do not over-tighten plunger packing. Keep TA-315 gland wrench handy for future packing adjustment. It may be necessary to readjust the packing the next day. A slight leak during the break-in is beneficial. sufficient time should be allowed to let the packing "seat in". Do not tighten packing when pump head is under load. (Discharge pressure should be atmospheric.)
(If the pump is being primed, the plunger bead, the fluid discharge, is fine and the other fittings are to be fine checked. Do not be bothered by the air bubbles.)

Check the operation by opening the priming valve.

OPERATING INSTRUCTIONS

1. Check oil level in gear box regularly. Observe oil level indicator, Item #5.
2. Check for excess chemical leakage around the packing gland. If it is impossible to tighten, replace the packing. If the plunger is badly scored, replace the plunger and packing. If excessive packing failure is experienced, consult your Texsteam representative.
3. Each Texsteam Series 4300 Pump has an adjustment for the required stroke length. To adjust stroke length see the FLOW RATE ADJUSTMENT instruction note on page 5.

MAINTENANCE INSTRUCTIONS FOR ELECTRIC DRIVEN

REPLACING THE STROKE ADJUSTMENT GEAR

When replacing the Nylon stroke adjustment gears, they have to be correctly positioned relative to the crosshead, the stroke adjustment knob, and to each other.

Rotate the motor coupling by hand until the crosshead, Item 2, is moved forward as far as it will go toward the side of the housing on which the head is mounted.

Assemble the small and large gears, Items 19 & 21, in place. Reference the illustrations on page 5. Leave the set screw, Item 23, in the large gear, loose for the time being. The two gears should be in mesh at this point, and rotating the large gear by hand will cause the small gear to move forward & back on the adjustment bolt, Item 16. Turn the large gear in the direction that causes the small gear to move forward toward the crosshead, and continue this turning motion until the small gear is flush up against the crosshead (no lost motion). Now turn the stroke adjustment knob, Item 55, clockwise until it covers the last groove on the spindle, then tighten Item 23, the set screw, in the large nylon gear, using a 5/64" Allen wrench.

The pump is now set in the full discharge stroke position, and all parts are in their correct relative positions. To make further adjustment in the flow rate, see the FLOW RATE ADJUSTMENT instruction about 1/3 the way down on page 5.

DISASSEMBLY OF THE POWER MECHANISM

1. Disconnect and remove pump head from power unit.

2. Remove Item 21, large Nylon drive gear, by loosening Item 23, set screw with a 5/64" Allen wrench.

3. Remove Item 15 rod retainers and Item 14 "O" rings from each end of Item 24 bearing rods.

4. Using proper size punch, push bearing rods through Item 2 crosshead and out opposite side of gear box.

TO REMOVE ITEM #28 CROSSHEAD BEARING FROM WORM GEAR

Remove Item 2 crosshead and lift bearing off Item 27 bearing stud.

TO REMOVE WORM GEAR ITEM #37 AND ITEM #46 BEARING FROM GEAR BOX

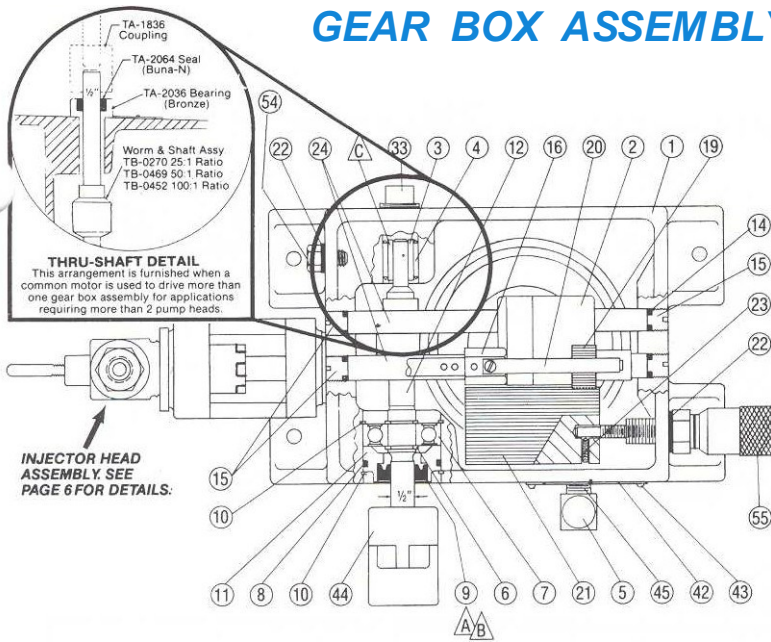
1. Remove cap Item 36 from bottom of pump.
2. Remove Item 48 hex-head machine screw, Item 49 spring washer and Item 47 boom thrust washer. You can remove the worm gear Item 37 and Item 46 bearing through the top of the housing Item 1.
3. Upon replacing be certain the gear roll pin Item 30 is located in its proper place-holding the bearing Item 46 in proper alignment.

TO REMOVE THE WORM GEAR AND SHAFT ITEM #12 SHAFT END BEARING and/or OIL SEAL ITEM #9

It is not necessary to remove the crosshead, guide rods or worm gear in order to remove the drive shaft and its component parts.

GEAR BOX ASSEMBLY

PARTS LIST

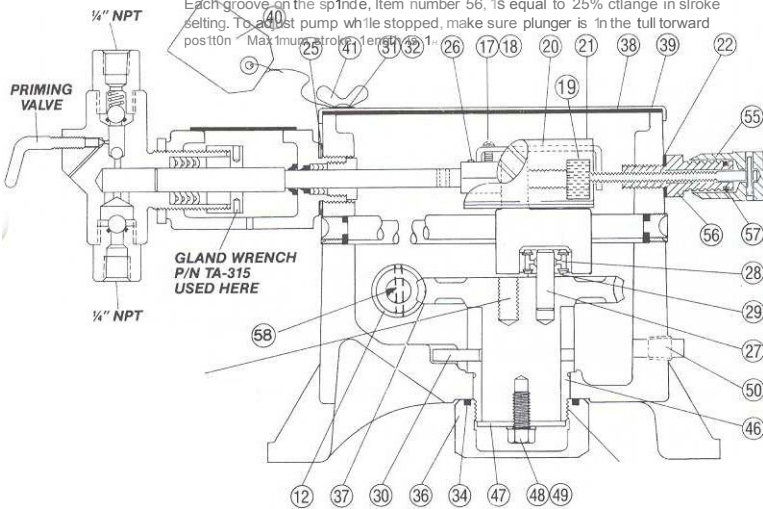


THRU-SHAFT DETAIL
This arrangement is furnished when a common motor is used to drive more than one gear box assembly for applications requiring more than 2 pump heads.

INJECTOR HEAD ASSEMBLY SEE PAGE 6 FOR DETAILS.

FLOW RATE ADJUSTMENT

Turn knob Item no. 55 clockwise to decrease flow, counterclockwise to increase flow. Each complete turn of the knob results in 10% change in stroke setting. Each groove on the spindle, item number 56, is equal to 25% change in stroke setting. To adjust pump while stopped, make sure plunger is in the full forward position. Maximum stroke length is 1.125 inches.



Use threaded hole when installing this worm gear in the old style series 4100 pump.

CHEMICAL INJECTOR SERIES 4300

1. Disconnect flexible coupling and remove motor from base. If unit is equipped with container on base, it is best to remove entire gear box from base:

- a. Remove Item 10 truarc ring
- b. Remove Item 33 pipe plug (opposite side)

2. Insert proper size punch into recess on small end of Item 12 shah (small end under Item 33 pipe plug). Carefully drive shah out through opposite side of housing. Punch side should be small enough so not to chafe against Item 3 inner race (if it is desirable to remove Item 4 needle bearing and Item 3 inner race, it should be done after the shah has been removed).

As the shah is being driven out, care should be taken to see that the large worm gear turns. This will "walk" or disengage the gear teeth.

As the shah emerges, from the side of housing, it will force out the oil seal Item 9, seal cartridge Item 11 and ball bearing Item 7.

Withdraw the shah from pump housing. In order to remove ball bearing Item 7 from shaft, it is necessary to remove one or both truarc rings Item 6.

Upon replacing care should be taken to "walk" the two worm gears back together.

Be sure the two truarc rings item 6 are in place; also seal and seal housing are in properly (the seal lips and seal expander spring should face into the pump). Make sure the "O" ring Item 8 is in its proper place, the shah assembly should be inserted into the pump until shaft bearing Item 7 shoulders against the truarc ring Item 10 located near the inner edge of the hole into which the shah is inserted.

ITEM	NUMBER	REQ.O.	PART NAME	MATERIAL
1	TD-0492	1	Housing	Cast Iron
2	TB-1333	1	Grosshead	Cast Iron
3	TA-2287	1	Inner Race Bearing	Garban Steel
4	TA-2286	1	Needle Bearing	Garban Steel
5	TA-4066	1	Seal Ass'y (Qty)	Brass with Glass Tube
6	TA-3310	2	Truarc Ring	Garban Steel
7	TA-2285	1	Ball Bearing	Garban Steel
8	TA-1961	1	O-ring	Buna N
9	TA-2064	1	Seal	Buna N
10	TA-3311	2	Truarc Ring	Garban Steel
11	TA-4045	1	Cartridge Seal	Garban Steel
12	TA-1871	1	Worm & Shaft Ass'y (25:1 Ratio)	Garban Steel
13	TA-1755	1	Worm & Shaft Ass'y (50:1 Ratio)	Garban Steel
14	TA-1755	1	Worm & Shaft Ass'y (100:1 Ratio)	Garban Steel
15	TA-3319	1	Pipe Plug	Cast Iron
16	TA-3849	4	O-ring	Buna N
17	TA-4228	4	Retainer Rod	Garban Steel
18	TA-4755	1	Adjustment Bolt	Garban Steel
19	TA8312	1	Lockwasher	Steel Cad Plated
20	TA-4753	1	Round Head Screw	Steel Cad Plated
21	TA-4757	1	Stroke Adjustment Gear	Nylon
22	TA-4756	1	Guide Bar	304 SS
23	TA-4758	1	Stroke Adjustment Drive Gear	Nylon
24	TA-4759	2	Gasket	Buna N
25	TA-4229	2	Washer	302 SS
26	TA-4894	1	Set Screw	Steel
27	TA-4256	2	Washer	302 SS
28	TA-0290	1	Plunger Pin	Garban Steel
29	TA-4064	1	Bearing Stud	Garban Steel
30	TA-4065	1	Grosshead Bearing	Garban Steel
31	TA-458	1	Washer	Carbon Steel
32	TA-2337	1	Roll Pin	Garban Steel Cad Plated
33	TA-4092	2	Stat-O-Seal	Buna N
34	TA-4093	2	X" Gaskets	Neoprene
35	TA-3309	1	Pipe Plug	Malleable Iron Galvanized
36	TA-2457	1	O-ring	Buna N
37	TA-1921	1	Cap	Cast Iron
38	TB-621	1	Worm Gear (25:1 Ratio)	Cast Iron
39	TB-616	1	Worm Gear (50:1 Ratio)	Cast Iron
40	TB-623	1	Worm Gear (100:1 Ratio)	Cast Iron
41	TA-4814	1	Gover Gasket	Neoprene
42	TC-1576	1	Cover	Garban Steel Galvanized
43	TA-1656	1	Lubrication Instructions	Paper
44	TA-2970	2	Wing Screw	Garban Steel Cad Plated
45	GA-3181	1	Name Plate	304 SS
46	TA-171	2	Escutcheon Pin	Brass
47	TA-1836	1	1/2" Coupling (56 frame motor)	TA-1836 Y1" x 1/2"
48	TA-3325	1	X" Nut	Garban Steel Cad Plated
49	TB-619	1	Lower Bearing	Cast Iron
50	TA-1930	1	Bottom Thrust Washer	Carbol Steel
51	TA-2501	1	Machine Screw	Garban Steel
52	TA-459	1	1/4" Spring Lockwasher	Garban Steel
53	TA-138	1	Pipe Plug	Malleable Iron Galvanized
54	See Po. 6		Injector Heads	
55	TA-4795	1	Bolt	Steel Cad Plated
56	TA-4805	1	Stroke Adj. Knob & Screw Ass'y	Steel
57	TA-4761	1	Stroke Adjustment Spindle	303 SS
58	TA-2116	1	O-ring	Buna N
59	351	1	Roll Pin	Garban Steel

* Recommended spare parts

† Item 44-alternate coupling for 48 frame TA-1836 Y1" x 1/2"

‡ These parts are directly interchangeable with Series 4100 and 4200 pumps

Apply Lubriplate 630 AA to wear surfaces of the following items:
Guide & Crosshead Bearing Rod surfaces in contact with Crosshead, Worm Teeth & Gear Teeth, Seal Cartridge (Item 11), Worm Gear in contact with Lower Bearing

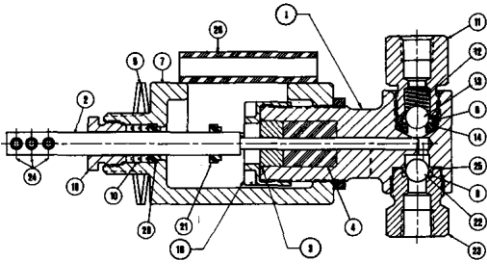
i (Item 46), Thrust Washer (Item 47), Surface in contact with Lower Bearing (Item 46).

&. Apply Lubriplate 630 AA or equal between Shaft & Seal lips.

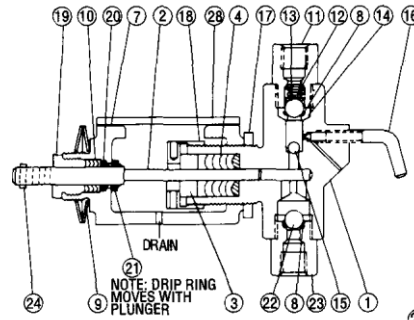
&. Assemble Oil Seal flush with end of Cartridge.

In Apply Lubriplate 630 AA or equal.

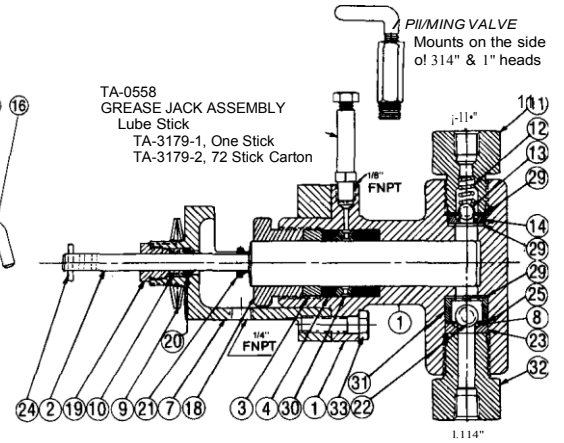
& Use Locktite on threads.



1/2" Head



3/4"-1" Heads



1"-1" Heads

PARTS LIST: SERIES 4300 INJECTOR HEADS (For PVC Plastic Heads, see Page 7)

ITEM	PART NAME	MATERIAL	PLUNGER SIZE										
			1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		
			ALL SS TRIM	DUCTILE IRON W/SS TRIM	ALL SS TRIM	DUCTILE IRON W/SS TRIM	ALL SS TRIM	DUCTILE IRON W/SS TRIM	ALL SS TRIM	DUCTILE IRON W/SS TRIM	ALL SS TRIM	DUCTILE IRON W/SS TRIM	
HEAD ASSEMBLY NUMBER			TC-2041	TC-1578	TC-1582	TC-1579	TC-1583	TC-1580	TC-1584	TC-1888	TC-1887	TC-1886	TC-1885
1	Body		TC-2040	TC-0275	TC-0291	TC-0276	TC-0425	TC-0272	TB-0349	TC-0333	TC-0340	TC-0020	TC-0138
2	Plunger	17-4PH SS	TB-1471	TB-1175	TB-1175	TB-1176	TB-1176	TB-1177	TB-1177	TB-1351	TB-1351	TB-1352	TB-1352
3	Plunger Packing Gland	303 SS	TA-5642	TA-1463	TA-1463	TA-0957	TA-0957	TA-1219	TA-1219	TA-2769	TA-2769	TA-0043	TA-0043
4	Plunger Packing Set (Buna N)	Buna N	TA-3969	TA-1461	TA-1461	TA-1456	TA-1456	TA-0959	TA-0959	TA-2771	TA-2771	TA-0050	TA-0050
7	Yoke	Malleable Iron	TB-1173	TB-1173	TB-1173	TB-1173	TB-1173	TB-1173	TB-1173	TC-1884	TC-1884	TC-1884	TC-1884
8	O-ring (included in Item 23)	Buna N	TA-0479	TA-0479	TA-0479	TA-0479	TA-0479	TA-0479	TA-0479	TA-0612	TA-0612	TA-0612	TA-0612
9	Belleville Washer (2 required)	Carbon Steel	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256	TA-4256
10	Yoke Packing Set	Buna N	TA-4892	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127	TA-4127
11	Top Bushing	302SS	TA-1496	TA-1496	TA-1496	TA-1496	TA-1496	TA-1496	TA-1496	TA-0152	TA-0152	TA-0152	TA-0152
12	Ball Check Spring	316 SS	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077	TA-0077
13	Large Top Ball 3/8"	316 SS	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054
14	Top Seat Ass'y w/Buna N O-ring	303 SS	TB-0737	TB-0737	TB-0737	TB-0737	TB-0737	TB-0737	TB-0737	TB-0368	TB-0368	TB-0368	TB-0368
15	Small Top Ball 1/4"	316 SS	TA-0126	TA-0126	TA-0126	TA-0126	TA-0126	TA-0126	TA-0126	N/A	N/A	N/A	N/A
16	Priming Valve (Ball & Spring inc. 1/2")	303 SS	TA-5462	TA-1497	TA-1497	TA-1497	TA-1497	TA-1497	TA-1497	TA-0123	TA-0123	TA-0123	TA-0123
17	Yoke Lock Nut	Brass	TA-0225	TA-0225	TA-0225	TA-0225	TA-0225	TA-0225	TA-0225	N/A	N/A	N/A	N/A
18	Plunger Packing Gland Nut	316 SS	TA-4104	TA-4104	TA-4104	TA-4104	TA-4104	TA-4104	TA-4104	TA-2768	TA-2768	TA-0047	TA-0047
19	Yoke Packing Nut	Brass	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094	TA-4094
20	Plunger Wiper Ring	Buna N	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095
21	Plunger Drip Ring	Buna N	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095	TA-4095
22	Suction Ball 3/4" for 1/2", 3/4" & 1" Head	316 SS	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0054	TA-0053	TA-0053	TA-0053	TA-0053
23	Bottom Seal w/Buna N O-ring	303 SS	TB-1216	TB-0736	TB-0736	TB-0736	TB-0736	TB-0736	TB-0736	TB-0698	TB-0698	TB-0698	TB-0698
24	Plunger Pin	Carbon Steel	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290	TA-0290
25	Gasket	304 SS	TA-4394	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	TA-2338	TA-2338	TA-2338	TA-2338
26	O-ring	Buna N	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
27	O-ring	Buna N	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
28	Yoke Cover	Plastic	TC-1604	TC-1604	TC-1604	TC-1604	TC-1604	TC-1604	TC-1604	N/A	N/A	N/A	N/A
29	Gasket (3 required)	Tem Plate	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	TA-2350	TA-2350	TA-2350	TA-2350
30	Lantern Ring	303 SS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	TA-2770	TA-2770	TA-0448	TA-0448
31	Ball Cage	303 SS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	TA-0444	TA-0444	TA-0444	TA-0444
32	Bottom Bushing	303 SS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	TA-0153	TA-0153	TA-0153	TA-0153
33	Ball	303 SS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	TA-4452	TA-4452	TA-4452	TA-4452
Alternate Parts for Corrosive Service													
4	Plunger Packing	Viton 2400# Maximum	TA-3967	TA-4102	TA-4102	TA-4101	TA-4101	TA-4103	TA-4103	TA-4657	TA-4657	TA-4658	TA-4658
		Teflon 1000# Maximum	TA-3966	TA-1642	TA-1642	TA-1234	TA-1234	TA-1012	TA-1012	TA-2988	TA-2988	TA-1013	TA-1013
		Hard 5000# Maximum	TA-3948	TA-2295	TA-2295	TA-1875	TA-1875	TA-1874	TA-1874	TA-2772	TA-2772	TA-4135	TA-4135
8	O-ring	Viton	TA-2580	TA-2580	TA-2580	TA-2580	TA-2580	TA-2580	TA-2580	TA-2184	TA-2184	TA-2184	TA-2184
14	Top Seat Ass'y (M to M)	303 SS	N/A	TA-0806	TA-0806	TA-0806	TA-0806	TA-0806	TA-0806	TA-0157	TA-0157	TA-0157	TA-0157
22	Ball W' (use with TA-0771 M to M Bottom Seal only)	316 SS	N/A	TA-0053	TA-0053	TA-0053	TA-0053	TA-0053	TA-0053	N/A	N/A	N/A	N/A
23	Bottom Seal (M to M)	303 SS	N/A	TA-0771	TA-0771	TA-0771	TA-0771	TA-0771	TA-0771	TA-0051	TA-0051	TA-0051	TA-0051
27	O-ring	Viton	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

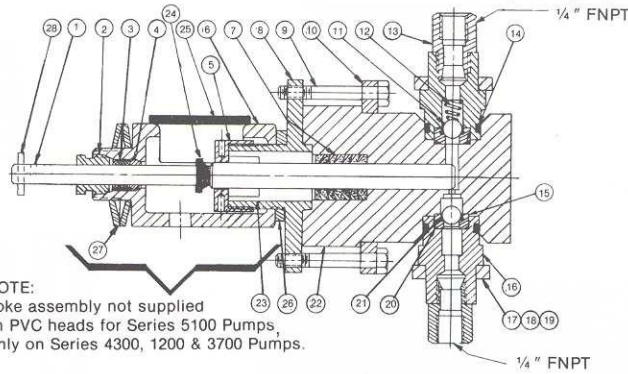
Recommended spare part Interchangeable with Series 4100 pump heads. *Must be used together to convert old style 4100 heads to new style 4300 heads (does not apply to 3/16" and 1/8" heads).

†Interchangeable with all Series 4100 pump heads except 1/8" head (does not apply to 3/16" heads).

PVC PLUNGER TYPE HEAD

(Use on Series 4300, 1200, 3700 & 5100 pumps)

Fred C. Gilbert Co.
106 Norris Road
Bakersfield, Ca. 93308
661-399-9569
www.fcgilbert.com



INSTALLATION

To install on the 4300 power unit, remove standard head then screw PVC plunger type head into gear box and tighten. Vertical position of suction and discharge can be aligned by loosening cap screws, Item 9, and rotating head to desired position. Retighten cap screws (Item 9).

OPERATION

Operation of the PVC plunger type head is the same as for standard head as described on page 4.

Head Assembly Numbers						
Pump Series 4300, 1200 & 3700		→	TC-1855	TC-1882	TC-1883	
Pump Series 5100		→	TB-0865	TB-0866	TB-0867	
ITEM	NAME	NO. REQ.	PLUNGER SIZE			MATERIAL
			1/4"	3/8"	1/2"	
1	Plunger 1200, 3700, 4300	1	TB-1342	TB-1345	TB-1346	Hastelloy C
	Plunger 5100	1	TA-3089	TA-3092	TA-3098	
2	Packing Nut	1	TA-4094	TA-4094	TA-4094	Brass
* 3	Yoke Packing	1	TA-4127	TA-4127	TA-4127	Buna N
* 4	Wiper	1	TA-4095	TA-4095	TA-4095	Buna N
5	Gland Nut	1	TA-4104	TA-4104	TA-4104	316 SS
6	Yoke	1	TB-1173	TB-1173	TB-1173	Malleable Iron
* 7	Packing	1	TA-3091	TA-3084	TA-3088	Teflon/Viton
			TA-4090	TA-4112	TA-4116	Viton
8	Gland	1	TB-0863	TB-0863	TB-0863	Forged Steel
9	Screw	4	61283P024	61283P024	61283P024	Steel Cad Pl
10	Flange	1	TA-3083	TA-3083	TA-3083	Carbon Steel
* 11	Ball 3/8"	2	TA-2539	TA-2539	TA-2539	Glass
* 12	Spring	1	61438P017	61438P017	61438P017	Hastelloy C
13	Adapter	2	TA-3081	TA-3081	TA-3081	PVC
14	O-ring	2	TA-3080	TA-3080	TA-3080	Viton
* 15	Seat	2	TB-0741	TB-0741	TB-0741	PVC
16	Bushing	2	TA-3076	TA-3076	TA-3076	PVC
17	Strap	2	TA-3078	TA-3078	TA-3078	Carbon Steel
18	Retainer	2	TA-3077	TA-3077	TA-3077	Carbon Steel
19	Nut	4	TA-3082	TA-3082	TA-3082	303 SS
* 20	O-ring	2	TA-3079	TA-3079	TA-3079	Viton
* 21	O-ring	2	TA-2580	TA-2580	TA-2580	Viton
22	Body	1	TB-0864	TB-0860	TB-0861	PVC
23	Gland	1	TA-3090	TA-3085	TA-3087	PVC
24	Drip Ring	1	TA-4095	TA-4095	TA-4095	Buna N
25	Yoke Cover	1	TC-1604	TC-1604	TC-1604	Plastic
26	Lock Nut	1	TA-0225	TA-0225	TA-0225	Brass
27	Belleville Washer	2	TA-4256	TA-4256	TA-4256	Carbon Steel
28	Plunger Pin	1	TA-0290	TA-0290	TA-0290	Carbon Steel

* Recommended spare parts

CAPACITY DATA: PLASTIC HEADS

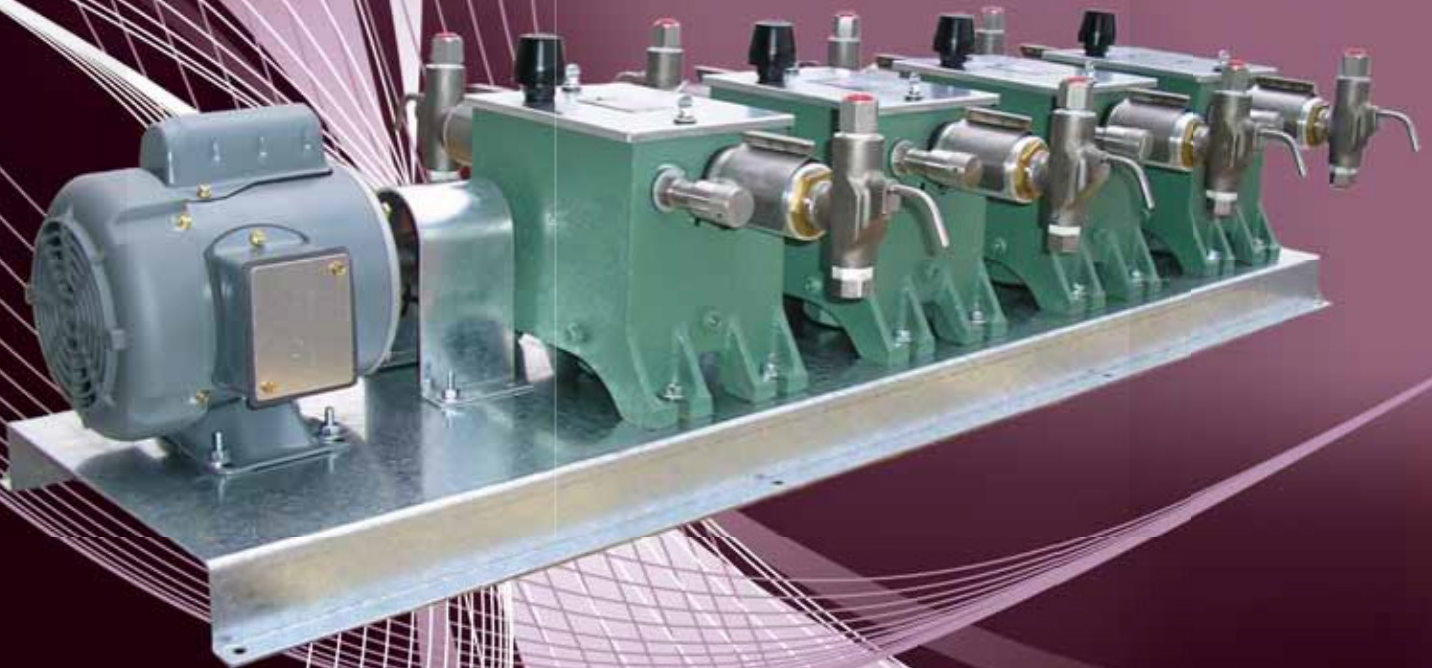
TYPE HEAD	MAX DISCH. PSIG	Capacities are the same as standard plunger heads at equivalent plunger sizes. See CAPACITY DATA chart on page 2.
Plunger 1/4" - 3/8" - 1/2" Only	500 All Available Sizes	

FLOMORE

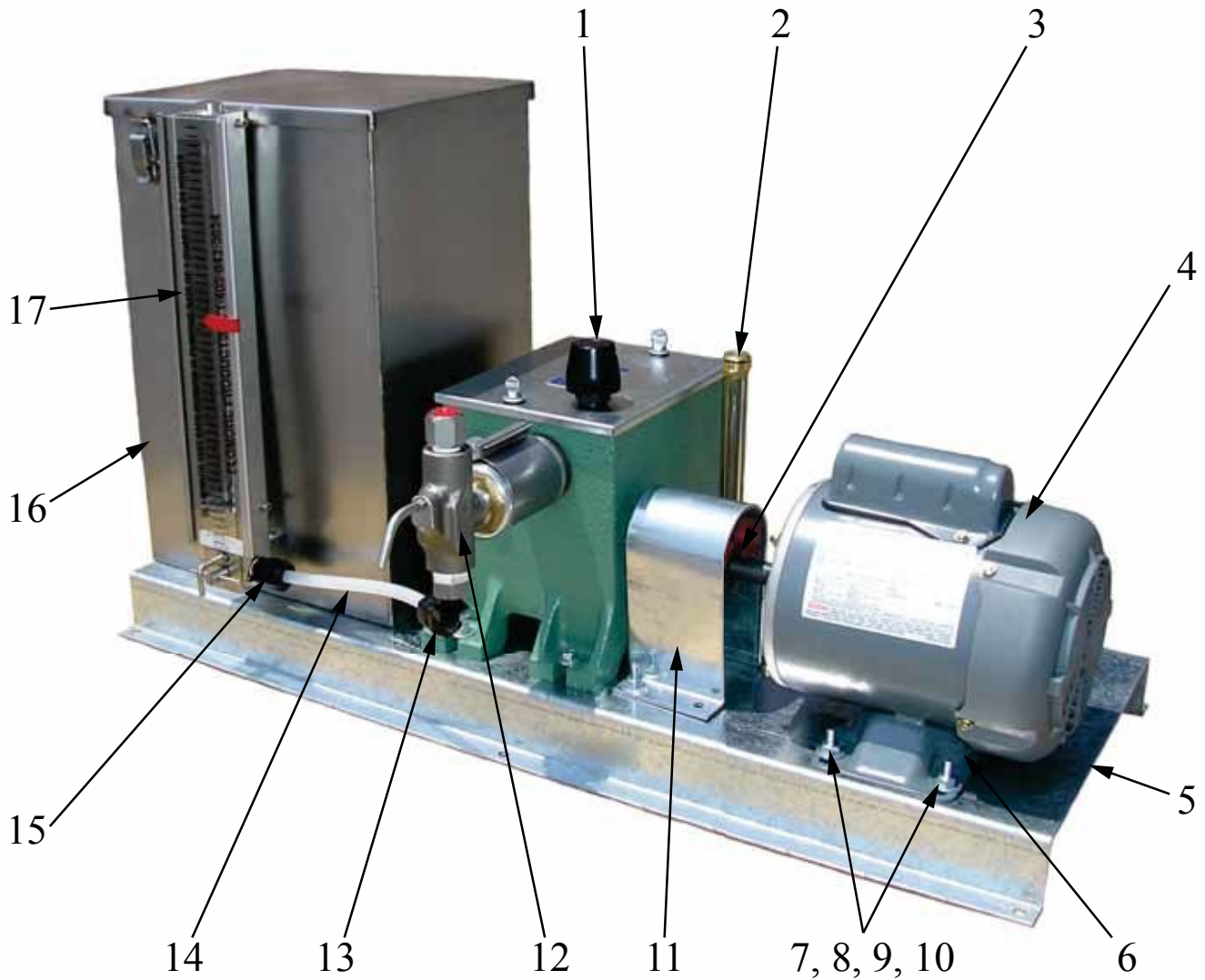
Different By Design

4400 Series

Injector



4400 Series Injector



Parts List

Item #	Part#	Description
1	A-2600	Breather
2	A-4066	Oil Gauge Assembly
3	A-1653	½" x ⅝" Coupling
4	A-2264	¼ HP, 1ph, 60 Hz, 115/230 Volt, TEFC
	A-2268	¼ HP, 3ph, 60 Hz, 230/460 Volt, TEFC
	A-2265	¼ HP, 1ph, 60 Hz, 115/230 Volt, Ex. Proof
	A-2271	¼ HP, 3ph, 60 Hz, 230/460 Volt, Ex. Proof
5	B-0431	Base for Two 5 Gallon Tanks and Pump
	B-0436	Base for One 5 Gallon Tank and Pump
	B-0437	Base for Pump
6	A-1741	Spacer for 48 Frame Motor Only

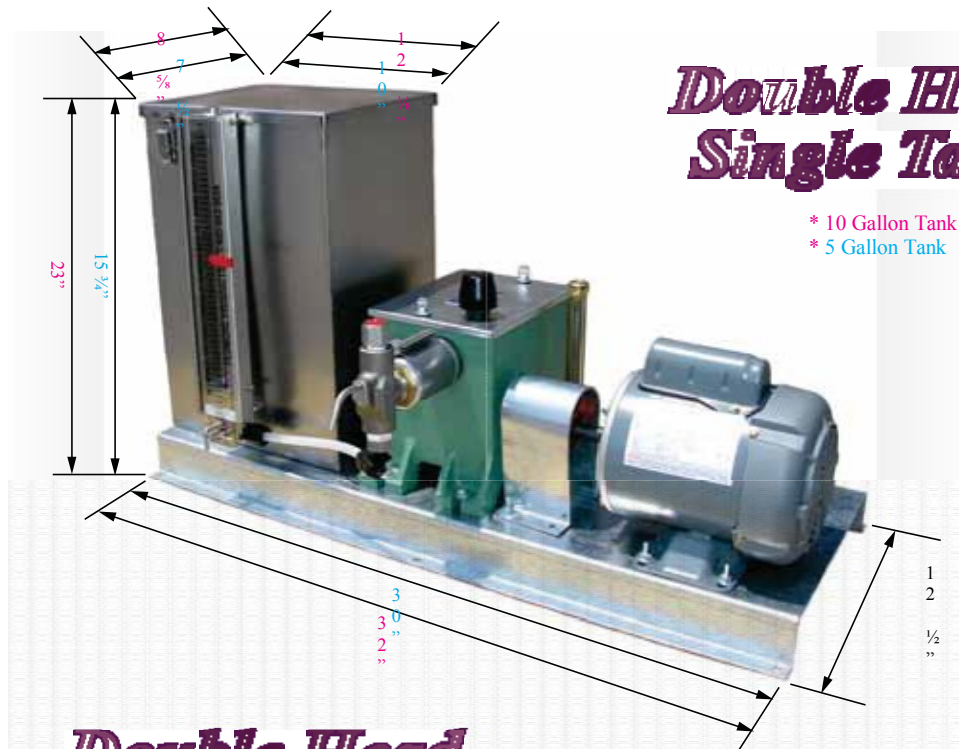
Item #	Part#	Description
7	A-0164	Hex Nut
8	A-3303	¼" Steel Lockwasher
9	A-0167	Cut Washer
10	A-0163	Cap Screw
11	B-1167	Coupling Guard
12	See Page 9	Head Assembly
13	A-3116	Elbow
14	A-3117	Polypropylene Tube
15	A-3118	Connector
16	A-0664	5 Gallon 430 Stainless Steel Chemical Tank
17	F-0871	Tank Gauge Assembly for 5 Gallon Tank

Operating Instructions and Dimensions

Operating Instructions

Note: The motor needs to be wired to turn the shaft of the pump clockwise.

1. Check oil level in gear box regularly. Observe oil level indicator Item #21 Page 6.
2. Check for excess chemical leakage around the packing gland. If it is impossible to tighten, replace the packing. If the plunger is badly scored, replace the plunger and packing. If excessive packing failure is experienced, consult your Flomore representative.
3. Each Flomore Series 4400 Pump has an adjustment for the required stroke length. To adjust stroke length see the *Flow Rate Adjustment* instruction note on page 4.

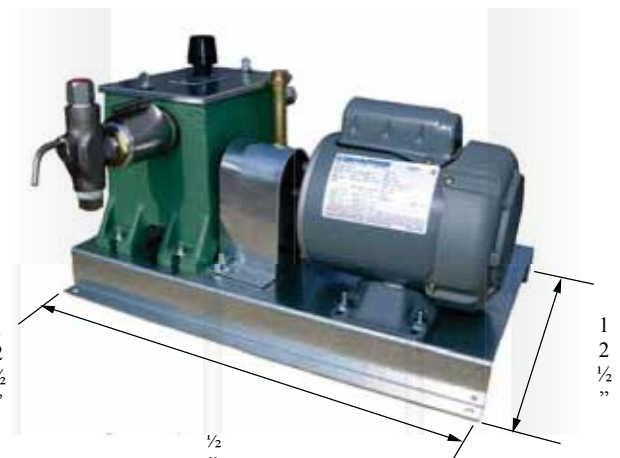


Double Head Single Tank

- * 10 Gallon Tank
- * 5 Gallon Tank

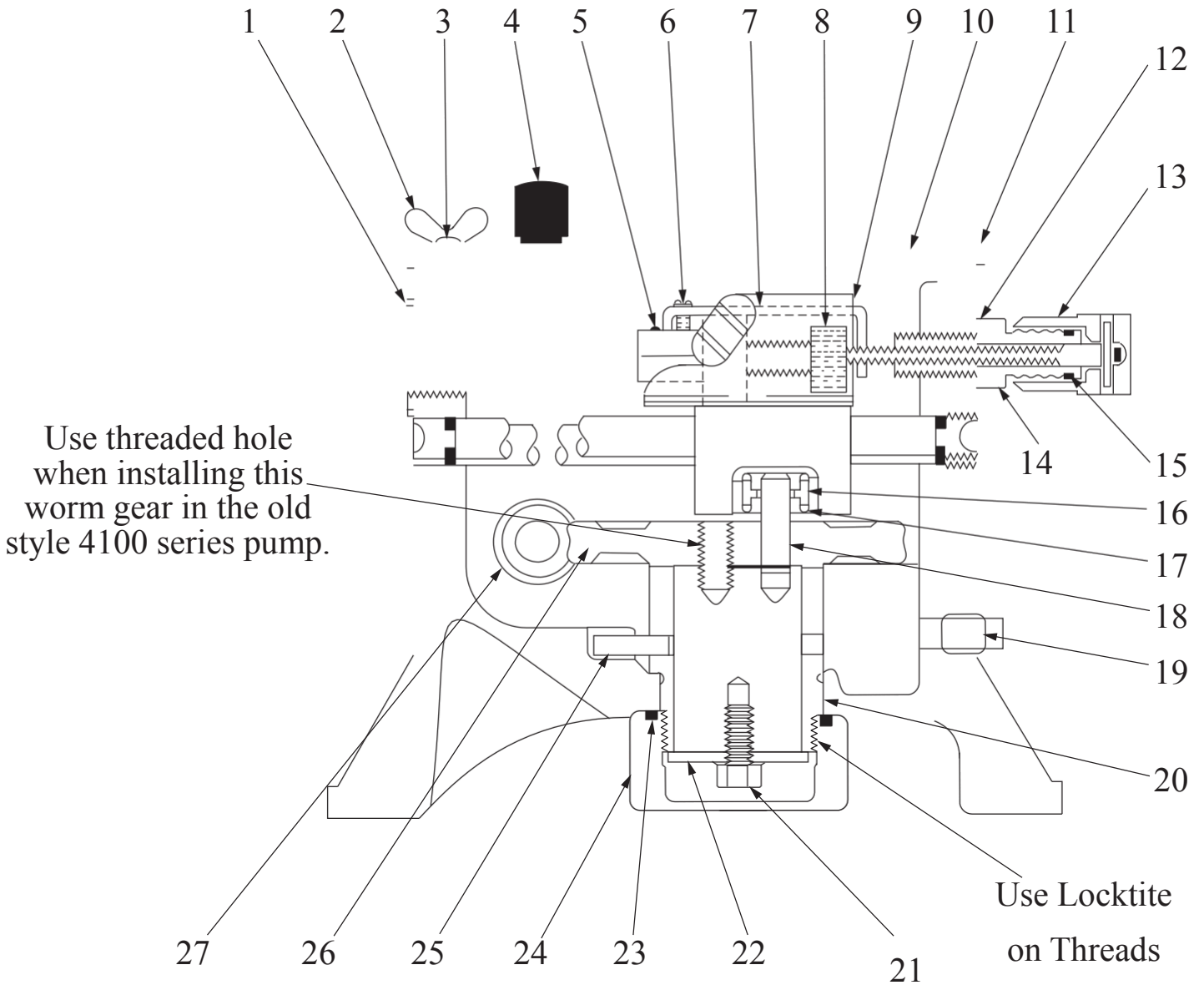
Double Head Double Tank

Single Head



Gear Box Assembly

Side View



Flow Rate Adjustment

Turn knob, Item #14, clockwise to decrease flow, counterclockwise to increase flow. Each complete turn of the knob results in a 10% change in stroke setting. Each groove on the spindle, Item #15 Page 4, is equal to 25% change in stroke setting. To adjust pump while stopped, make sure plunger is in the full forward position.

Gear Box Assembly

Parts List

Item #	Part #	# Reqd.	Description	Material
1	A-4256	2	Belleville Washer	302 Stainless Steel
* 2	A-2970	2	Wing Screw	Cadmium Plated Carbon Steel
3	A-4092	2	¼" Stat-O-Seal	Buna-N
4	A-2600	1	Breather	◆
* 5	A-0290	1	Plunger Pin	Carbon Steel
* 6	A-3312	1	Lockwasher	Cadmium Plated Steel
	A-4753		Round Head Screw	
7	A-4756	1	Guide Bar	Carbon Steel
8	A-4757	1	Stroke Adjustment Gear	Nylon
9	A-4758	1	Stroke Adjustment Drive Gear	Nylon
10	A-4814	1	Cover Gasket	Neoprene
11	C-1576	1	Cover	Galvanized Carbon Steel
12	A-4759	1	Gasket	Buna-N
13	A-4805-A	1	Stroke Adjustment Knob & Screw Assembly	Steel
14	A-4761	1	Stroke Adjustment Spindle	303 Stainless Steel
15	A-1957	1	O'Ring	Buna-N
16	A-4065	1	Crosshead Bearing	Carbon Steel
17	A-0458	1	Washer	Carbon Steel
18	A-4064	1	Bearing Stud	Carbon Steel
19	A-0138	1	Pipe Plug	Galvanized Malleable Iron
* 20	B-0619	1	Lower Bearing	Ductile Iron
* 21	A-2501	1	Machine Screw	Carbon Steel
	A-0459		⅜" Spring Lockwasher	
* 22	A-1930	1	Bottom Thrust Washer	Carbon Steel
* 23	A-2457	1	O'Ring	Buna-N
* 24	A-1921	1	Cap	Carbon Steel
* 25	A-2337	1	Roll Pin	Cadmium Plated Carbon Steel
* 26	B-0621	1	Worm Gear (25:1 Ratio)	Cast Iron
	B-0616		Worm Gear (50:1 Ratio)	
	B-0623		Worm Gear (100:1 Ratio)	

* 27	A-1871	1	Worm & Shaft Assembly (25:1 Ratio)	Carbon Steel
	A-2250		Worm & Shaft Assembly (50:1 Ratio)	
	A-1755		Worm & Shaft Assembly (100:1 Ratio)	
♠	B-0270	1	Thru-Shaft Assembly (25:1 Ratio)	Carbon Steel
	B-0469		Thru-Shaft Assembly (50:1 Ratio)	
	B-0452		Thru-Shaft Assembly (100:1 Ratio)	

** Recommended Spare Parts*

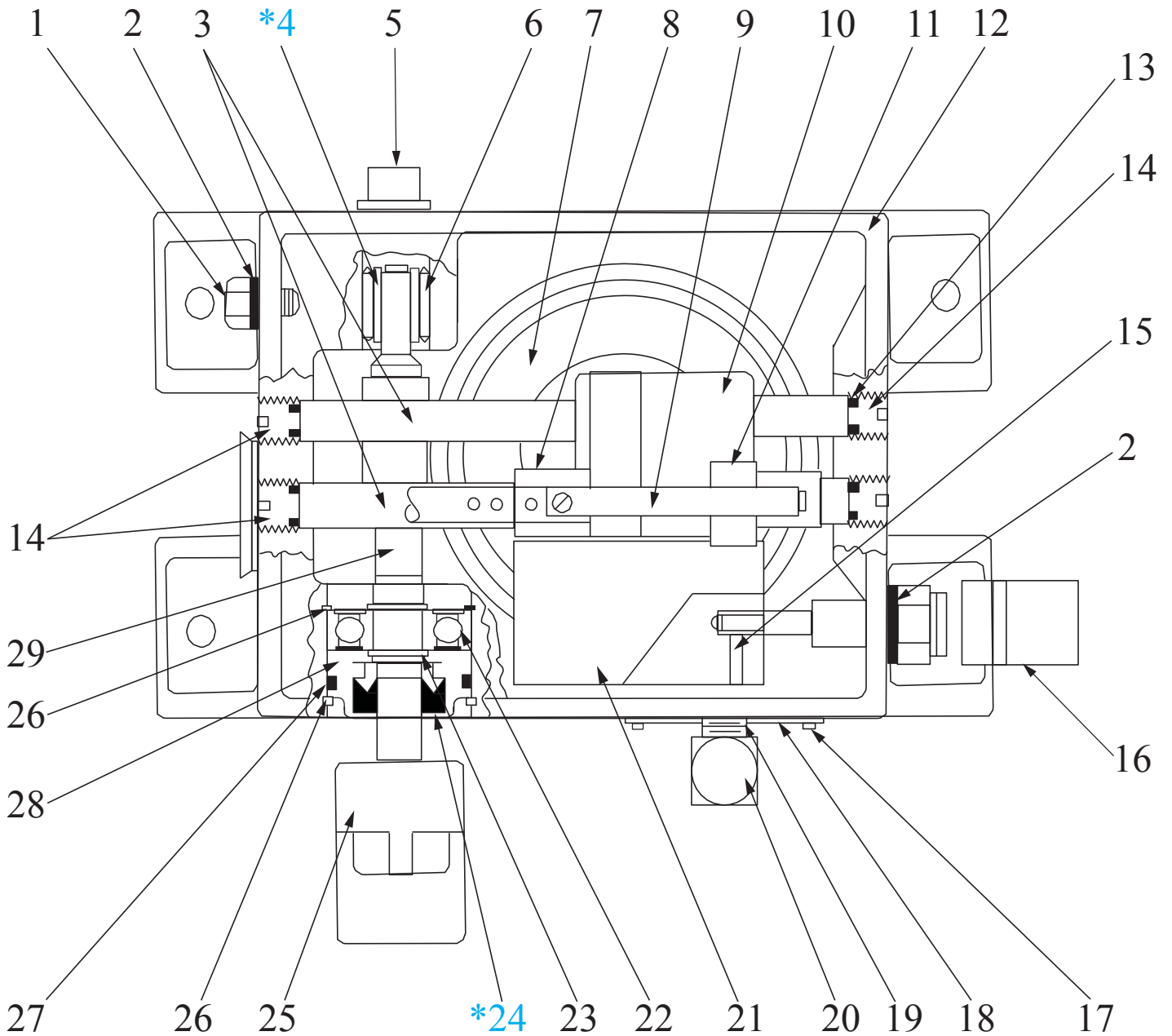
** Parts are directly interchangeable with Series 4100, 4200 and 4300 Pumps*

♠ Parts used when a common motor is used to drive more than one Gear Box Assembly

Gear Box Assembly

Top View

** Apply Lubriplate 630 AA or equal*



* Apply Lubriplate 630 AA or equal between shaft and seal lips

* Assembly oil seal flush with end of cartridge

6

Gear Box Assembly

Parts List

Item #	Part #	# Reqd.	Description	Material
1	A-4795	1	Bolt	Cadmium Plated Steel
2	A-4759	1	Gasket	Buna-N
3	A-4229	2	Crosshead Guide Bar	Carbon Steel
* 4	A-2287	1	Inner Race Bearing	Carbon Steel
5	A-3309	1	Pipe Plug	Galvanized Malleable Iron
* 6	A-2286	1	Bearing Needle	Carbon Steel
7	B-0621	1	Worm Gear (25:1 Ratio)	Cast Iron
	B-0616		Worm Gear (50:1 Ratio)	Cast Iron
	B-0623		Worm Gear (100:1 Ratio)	Cast Iron
8	A-4755	1	Adjustment Bolt	Carbon Steel
9	A-4756	1	Guide Bar	304 Stainless Steel
10	B-1333	1	Crosshead	Cast Iron
11	A-4757	1	Stroke Adjustment Gear	Nylon
12	D-0492	1	Housing	Cast Iron
13	A-3849	4	O' Ring	Buna-N
14	A-4228	4	Rod Retainer	Carbon Steel
15	A-4894	1	Set Screw	Steel
16	A-4805-A	1	Stroke Adjustment Knob & Screw Assembly	Steel
17	A-0171	2	Escutcheon Pin	Brass
18	A-0172	1	Name Plate	Aluminum
19	A-3325	1	¼" Nipple	Cadmium Plated Carbon Steel
20	A-4066	1	Oil Gauge Assembly	Brass with Glass Tube
21	A-4758	1	Stroke Adjustment Drive Gear	Nylon
* 22	A-2285	1	Ball Bearing	Carbon Steel
* 23	A-3310	2	Truarc Ring	Carbon Steel
Δ * 24	A-2064	1	Seal	Buna-N
* 25	A-1653	1	½" x ⅝" Coupling (56 Frame Motor)	Carbon Steel
Δ	A-1836	1	½" x ½" Coupling (48 Frame Motor)	Carbon Steel
* 26	A-3311	2	Truarc Ring	Carbon Steel
27	A-1961	1	O' Ring	Buna-N
28	A-4045	1	Seal Cartridge	Carbon Steel
Δ	A-2036	1	Bearing	Brass
* 29	A-1871	1	Worm & Shaft Assembly (25:1 Ratio)	Carbon Steel
	A-2250		Worm & Shaft Assembly (50:1 Ratio)	
	A-1755		Worm & Shaft Assembly (100:1 Ratio)	
	B-0270		Thru-Shaft Assembly (25:1 Ratio)	

♠	B-0469	1	Thru-Shaft Assembly (50:1 Ratio)	Carbon Steel
	B-0452		Thru-Shaft Assembly (100:1 Ratio)	

** Recommended Spare Parts*

** Parts are directly interchangeable with Series 4100, 4200 and 4300 Pumps*

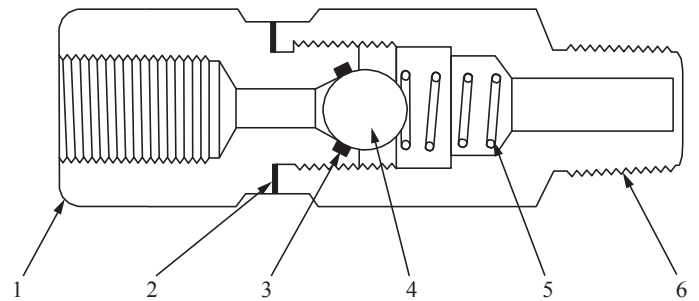
♠ Parts used when a common motor is used to drive more than one Gear Box Assembly

4400 Series Components

A-0675 & A-0676 Line Check

Parts List

Item #	Part #	# Reqd.	Description	Material
1	A-0678	1	Inlet Body	Brass
	A-1297	1	Inlet Body	303 Stainless Steel
2	A-1574	1	Washer	304 Stainless Steel
3	A-0479	1	O'Ring	Buna-N
	A-2580	1	O'Ring	Viton
4	A-0054	1	3/8" Ball	316 Stainless Steel
5	A-0391	1	Spring	Steel
6	A-0679	1	Outlet Body	Brass
	A-1296	1	Outlet Body	303 Stainless Steel

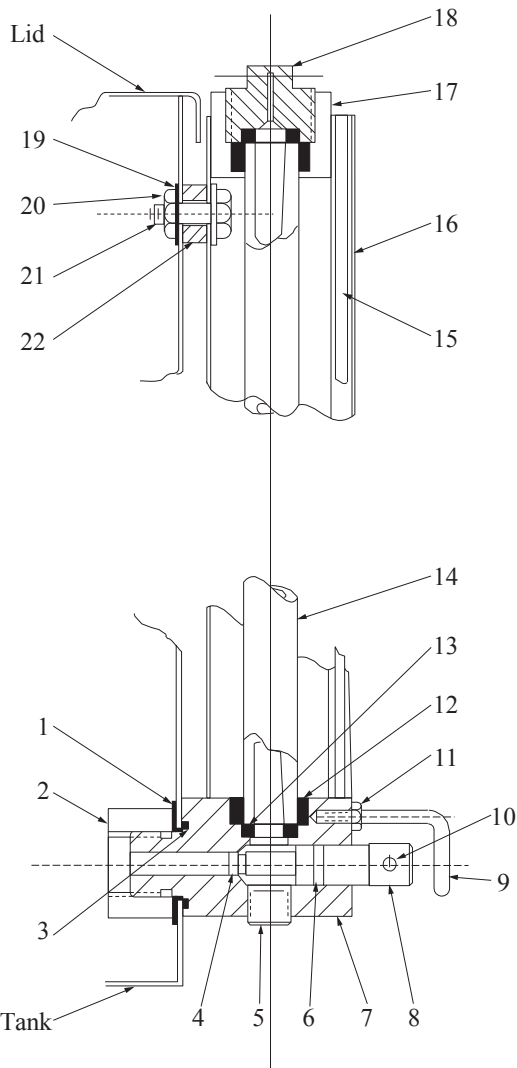


* Recommended Spare Parts

**A-0675 Only

***A-0676 Only

F-0871 Tank Gauge

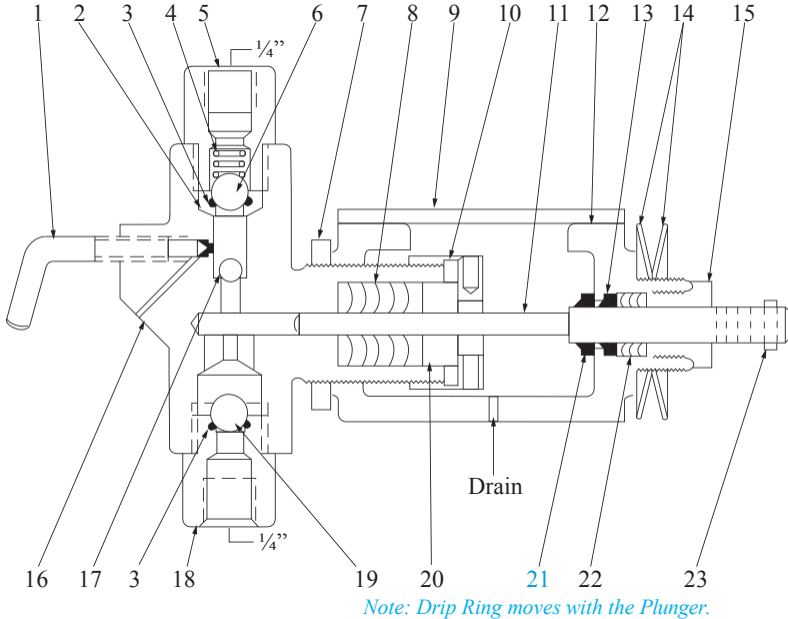


Parts List

Item #	Part #	# Reqd.	Description	Material
1	A-0306	1	Washer	Teflon
2	F-0871.01	1	3/4-16" Nut	Stainless Steel
3	F-0871.03	1	2-019 O'Ring	Viton
4	F-0871.04	1	2-006 O'Ring	Viton
5	A-0138	2	1/4" NPT Pipe Plug	Steel
6	F-0871.06	1	2-011 O'Ring	Viton
7	F-0871.07	1	Valve Body	Stainless Steel
8	F-0871.08	1	Valve Stem	Stainless Steel
9	F-0871.11	1	Valve Stop	Stainless Steel
10	F-0871.09	1	1/8" x 2" Roll Pin	Stainless Steel
11	F-0871.10	1	Valve Stop Nut	Stainless Steel
12	15470	2	Tube Gasket	Buna-N
13	D-0013	2	Tube End Seal	Viton
14	A-3102	1	Glass Tube	Glass
15	F-0871.15	1	Scale	Acrylic
16	F-0871.16	1	Housing	Stainless Steel
17	F-0871.17	1	Top Block	Aluminum
18	F-0871.18	1	Vent Plug	Stainless Steel
19	A-4092	2	Stat-O-Seal	Steel
20	F-0871.20	1	1/4-20" Nut	Stainless Steel
21	F-0871.21	1	1/4-20" x 3/4" Bolt	Stainless Steel
22	A-0987	1	Spacer	Stainless Steel

Injector Heads

Alternate Construction



Item #	Part #	Description	Material
2	A-0806	Top Seat Assembly (Metal-to-Metal)	303 Stainless Steel
	B-0843	Top Seat Assembly (Viton)	
3	A-2580	O'Ring	Viton
8	A-3967	3/16" Plunger Packing	Viton
	A-3966		Teflon
	A-4102		Viton
	A-1642	1/4" Plunger Packing	Teflon
	A-2295		Hard
	A-4101	3/8" Plunger Packing	Viton
	A-1234		Teflon
	A-1875		Hard
	A-4103	1/2" Plunger Packing	Viton
	A-1012		Teflon
A-1874	Hard		
11	B-1175-C	1/4" Ceramic Plunger	♦
	B-1176-C	3/8" Ceramic Plunger	
	B-1177-C	1/2" Ceramic Plunger	
18	A-0771	Bottom Seat Assembly (Metal-to-Metal)	303 Stainless Steel
	B-0844	Bottom Seat Assy. (Viton)	
19	A-0053	1/2" Ball	316 Stainless Steel

Parts List

Item #	Part #				# Req'd.	Description	Material
	3/16"	1/4"	3/8"	1/2"			
♦	♦	C-1578	C-1579	C-1580	1	Head Assembly	Ductile Iron with Stainless Steel Trim
	C-2041	C-1582	C-1583	C-1584			All Stainless Steel
1	A-4027	A-1497			1	Priming Valve	303 Stainless Steel
*2	B-0737				1	Top Seat Assembly	303 Stainless Steel
*3	A-0479				1	O'Ring	Buna-N
4	A-0077				1	Ball Check Spring	316 Stainless Steel
5	A-1496				1	Top Bushing	302 Stainless Steel
6	A-0054				1	3/8" Large Top Ball	316 Stainless Steel
7	A-0225				1	Yoke Lock Nut	Brass
*8	A-3969	A-1461	A-1456	A-0959	1	Plunger Packing Set	Buna-N
9	C-1604				1	Yoke Cover	303 Stainless Steel
10	A-4104				1	Plunger Packing Gland Nut	303 Stainless Steel
*11	B-1288	B-1175	B-1176	B-1177	1	Plunger	17-4 pH Stainless Steel
12	B-1173				1	Yoke	Malleable Iron
13	A-4095				1	Plunger Wiper Ring	Buna-N
14	A-4256				2	Belleville Washer	302 Stainless Steel
15	A-4094				1	Yoke Packing Nut	Brass
16	♦	C-0275	C-0276	C-0272	1	Body	Ductile Iron
	C-2040	C-0291	C-0425	C-0349			Stainless Steel
17	♦	A-0126			1	1/4" Small Top Ball	316 Stainless Steel
*18	B-1216	B-0736			1	Bottom Seat	303 Stainless Steel
*19	A-0054				1	3/8" Suction Ball	316 Stainless Steel
20	A-4332	A-1463	A-0957	A-1219	1	Plunger Packing Gland	303 Stainless Steel
21	A-4095				1	Plunger Drip Ring	Buna-N
22	A-4127				1	Yoke Packing Set	Buna-N
23	A-0290				1	Pin Plunger	Carbon Steel

*Recommended Spare Parts

*Alternate Components Available (see table above)

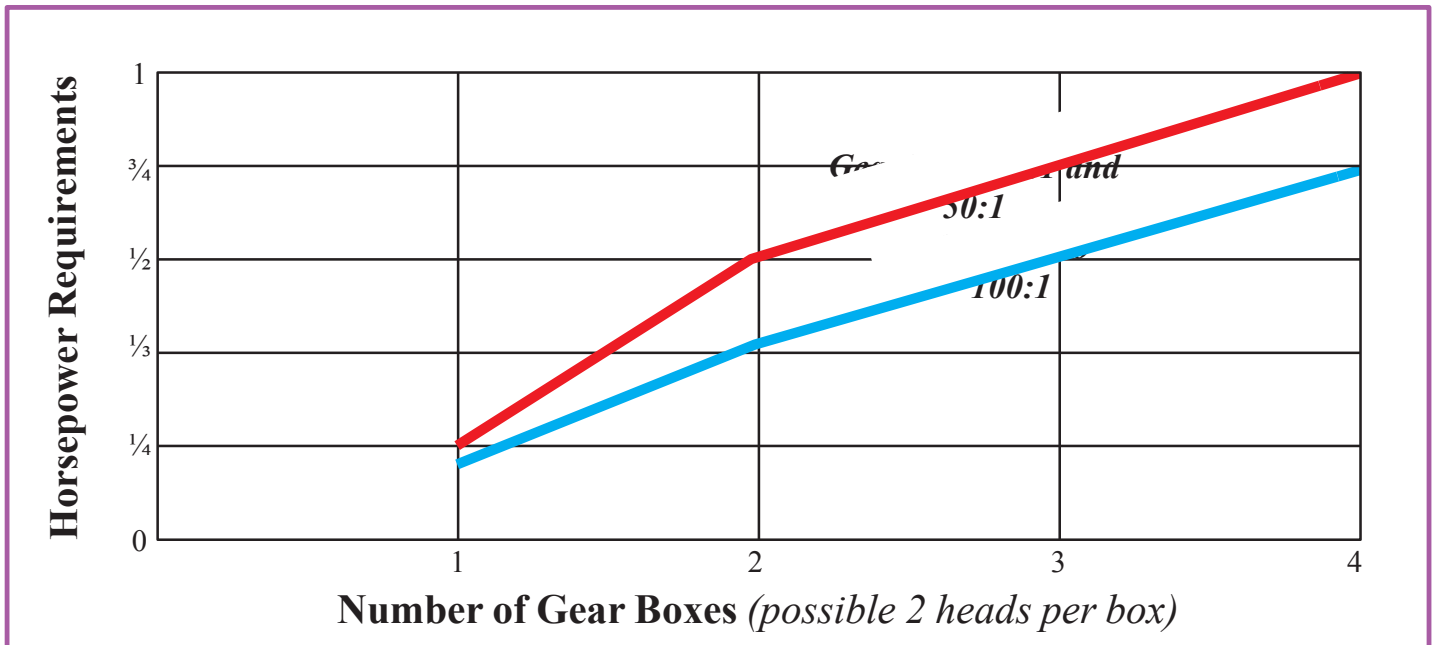
Performance Data

Pressure Volume Range

# of Heads	Plunger Size	Maximum Discharge Pressure (PSI)	100:1 Ratio (17.5 SPM)			50:1 Ratio (35 SPM)			25:1 Ratio (70 SPM)					
			Model #	Min.* 60 Hz Motor	Max.* 50 Hz Motor	Model #	Min.* 60 Hz Motor	Max.* 50 Hz Motor	Model #	Min.* 60 Hz Motor	Max.* 50 Hz Motor			
Single Head Units	3/16"	◆	44-24	0.063	2.5	2.07	44-04	0.13	5	4.15	44-34	0.25	10	9.13
	1/4"	2400	44-21	0.50	5.0	4.15	44-01	1.0	10	8.30	44-31	2.0	20	16.60
	3/8"	1200	44-23	1.2	12	9.96	44-03	2.3	23	19.09	44-33	4.6	46	38.18
	1/2"	600	44-25	2.1	21	17.43	44-05	4.0	40	33.20	44-35	8.0	80	66.40
Double Head Units	3/16"	◆	43-24	0.13	5.0	4.14	43-04	0.26	10	8.3	43-34	0.5	22	18.20
	1/4"	2400	43-21	1.0	10	8.30	43-01	2.0	20	16.60	43-31	4.0	40	33.20
	3/8"	1200	43-23	2.4	24	19.90	43-03	4.6	46	38.18	43-33	9.2	92	76.40
	1/2"	600	43-25	4.2	42	34.86	43-05	8.0	80	66.40	43-35	16.0	160	132.8

*Volume expressed in U.S. Gallons Per Day

Horsepower Requirements for Multi-Headed Units



Maintenance

Replacing the Stroke Adjustment Gears, Page 7

1. When replacing the steel stroke adjustment gears, they have to be correctly positioned relative to the crosshead, the stroke adjustment knob, and to each other. Rotate the motor coupling by hand until the crosshead, Item #11, is moved forward as far as it will go toward the side of the housing in which the head is mounted.
2. Assemble the small and large gears, Items #12 & 22, in place. Leave the set screw, Item #16, in the large gear, loose for the time being. The two gears should be in mesh at this point, and rotating the large gear by hand will cause the small gear to move forward and back on the adjustment bolt, Item #9.
3. Turn the large gear in the direction that causes the small gear to move forward toward the crosshead, and continue this turning motion until the small gear is flush up against the crosshead (no lost motion).
4. Now turn the stroke adjustment knob, Item #17, clockwise until it covers the last groove on the spindle, then tighten the set screw, Item #16, in the large steel gear, using a 5/64" Allen wrench.

The pump is now set in full discharge stroke position, and all parts are in their correct relative positions. To make further adjustment in the flow rate, see the Flow Rate Adjustment instructions on Page 4.

Disassembly of the Power Mechanism, Page 7

1. Disconnect and remove pump head from power unit.
2. Remove Item #22, large steel drive gear, by loosening Item #16, set screw, with a 5/64" Allen wrench.
3. Remove Item #15, rod retainers, and Item #14, o'rings, from each end of Item #4, bearing rods.
4. Using proper size punch, push bearing rods through Item #11, crosshead, and out opposite side of gear box.

Remove Worm Gear and Bearing from Gear Box, Page 5

1. Remove cap, Item #25, from bottom of pump.
2. Remove Item #22, hex-head machine screw and spring washer and Item #23, bottom thrust washer. You can now remove the worm gear, Item #27, and Item #21, bearing, through the top of the housing.
3. Upon replacing, be certain the gear roll pin, Item #26, is located in its proper place -- holding the bearing, Item #21, in proper alignment.

To Remove Crosshead Bearing from Worm Gear, Page 7

Remove Item #11, crosshead, and lift bearing off of Item #19, bearing stud.

To Remove the Worm Gear and Shaft, Shaft End Bearing, and/or Oil Stem, Page 7

It is not necessary to remove crosshead, guide rods, or worm gear in order to remove the drive shaft and its component parts.

1. Disconnect flexible coupling and remove motor from base. If unit is equipped with container on base, it is best to remove entire gear box from base:
 - a. Remove Item #27, truarc ring.
 - b. Remove Item #6, pipe plug.
2. Insert proper size punch into recess on small end of Item #8, shaft, (small end under Item #6, pipe plug). Carefully drive shaft out through opposite side of housing. Punch size should be small enough so not to drive against Item #5, inner race, (if it is desirable to remove Item #7, needle bearing, and Item #5, inner race, it should be done after the shaft has been removed).
3. As the shaft is being driven out, care should be taken to see that the large gear worm turns. This will "walk" or disengage the gear teeth.
4. As the shaft emerges from the side of housing, it will force out the oil seal, Item #25, seal cartridge, Item #29, and ball bearing, Item #23.
5. Withdraw the shaft from pump housing.
6. In order to remove ball bearing, Item #23, from shaft, it is necessary to remove one or both truarc rings, Item #24.
7. Upon replacing, care should be taken to "walk" the two worm gears back together.
8. Be sure the two truarc rings, Item #24, are in place: also seal and seal housing are in properly (the seal lips and seal expander spring should face into the pump). Make sure the o'ring, Item #28, is in its proper place.
9. The shaft assembly should be inserted into the pump until shaft bearing, Item #23, shoulders against the truarc ring, Item #24, located near the inner edge of the hole into which the shaft is inserted.

Apply Lubriplate 630 SS to wear surfaces of the following items, Page 5:

- Guide and crosshead bearing rod surfaces in contact with crosshead.
- Worm teeth and gear teeth.
- Seal cartridge (Item #29).
- Worm gear in contact with lower bearing (Item #21).
- Thrust washer (Item #23).
- Surface in contact with lower bearing (Item #21).

FLOMORE

Richart Distributors, Inc.

Corporate Office

3415 South I-35 Service Road
Oklahoma City, OK 73129
1-866-843-5654
Fax: (405) 619-3007
Richart@flomore.com

Dickinson Branch

533 East Villard Suite B
Dickinson, ND 58601
(701) 483-8267
Fax: (701) 483-8268
RichartND@flomore.com

Kilgore Branch

Cardon Sales Company, LLC

820 South Commerce Street
Kilgore, TX 75662
(903) 984-3070
Fax: (903) 984-7901
THunt@cardonsales.com

Louisiana Branch

Cardon Sales Company, LLC

213 Cummings Road
Broussard, LA 70518
(337) 839-1704
Fax: (337) 839-1706
bcardon@cardonsales.com

Odessa Branch

Odessa Petroleum LLC, Inc.

2303 West 2nd St. Odessa, TX 79763
(432) 334-6966 Fax: (432) 334-8787
dbmachine@aol.com
opellc@aol.com

