

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN  
DE AGUA SALADA DE UN POZO PETROLERO EN LA  
SELVA DEL PERÚ”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**JAIME ALBERTO DÍAZ LUNA**

**PROMOCIÓN 1979-I**

**LIMA – PERÚ**

**2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Estoy muy agradecido a mis padres por su guía y protección desde el cielo, a mi esposa por estar siempre pendiente del presente trabajo, a los Profesores del XX Programa de Titulación Profesional por sus conocimientos otorgados, enriqueciendo mi formación profesional y a mi asesor el Ing. Duilio Aguilar Vizcarra por su diligencia hacia mi persona para lograr la culminación del presente informe de suficiencia profesional.*

*El autor.*

## **DEDICATORIA**

*A mi esposa Ivonne y a mis hijos Mary, Jaime, Jhonnatan, Johanna, razones para seguir escalando espiritual y profesionalmente.*

## **RESUMEN**

*El presente trabajo trata sobre la identificación de oportunidades de mejora, propuestas de mejora e implementación de las mismas y evaluación de los resultados económicos obtenidos en el sistema de reinyección de agua salada en un pozo petrolero de la selva del Perú.*

*Se inicia el trabajo con el diagnóstico del estado situacional existente en el sistema de reinyección de agua salada ejecutada por el área de ingeniería. Se identifican las oportunidades de mejora, se evalúa su impacto económico de cada una de ellas para establecer un orden de prioridad en su ejecución.*

*Se justificó el presupuesto elaborado por el personal administrativo y técnico involucrado, ante la Gerencia de Operaciones la cual otorgó el visto bueno para llevar a cabo los trabajos de mejora propuestos.*

*Se ejecutó el Plan de Mejoras propuesto obteniéndose los resultados económicos previstos, lográndose en algunos casos la eliminación de las pérdidas económicas y en otros su reducción.*

*Cabe mencionar que la capacitación continua del personal, contribuyó de manera fundamental en el desarrollo de la implementación de las mejoras.*

*Finalmente la relación de producción después de introducir las mejoras a la producción inicial diagnosticada nos dio el valor de 1,53; mientras que el ahorro anual debido a las mejoras fue de 3 525 467 dólares norteamericanos.*

# ÍNDICE

	PAG.
PRÓLOGO	1
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivo.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Alcance.....	6
1.5 Descripción del trabajo.....	7
<b>CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	
2.1 Reseña histórica.....	9
2.2 Sistema de producción de petróleo con bombas electro sumergibles (BES)	10
2.3 Sistema de reinyección de agua salada.....	25
2.4 Bomba para reinyección de agua salada (HPS).....	28
2.5 Bomba para alimentación de agua salada a las bombas hps (BOMBA BOOSTER).....	31
<b>CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO INICIAL DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN</b>	
3.1 Identificación de deficiencias en programa de mantenimiento de equipos ...	37
3.1.1 Sello mecánico entre cámara de empuje y bomba hps.....	37
3.1.2 Sello mecánico de bomba Booster.....	37
3.1.3 Variador de frecuencia de velocidad MVD, del motor eléctrico de la bomba HPS.....	38
3.1.4 Variador de frecuencia de velocidad VSD, del motor eléctrico de la bomba Booster.....	38
3.1.5 Alineamiento de conjunto motor – Bomba Booster.....	39
3.1.6 Alineamiento de conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS.....	39
3.1.7 Bomba de inyección de productos químicos.....	39

3.1.8	Sistema de lubricación a la cámara de empuje de la bomba HPS .....	40
3.2	Identificación de deficiencias en instalaciones.....	40
3.2.1	Filtro de bomba Booster.....	40
3.2.2	Tubería de alimentación de agua salada .....	41
3.3	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo ocasionadas por los equipos .....	43
3.3.1	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Sello Mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS .....	44
3.3.2	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en los Sellos Mecánicos (02 EA) de la bomba Booster .....	44
3.3.3	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Variador de Frecuencia de Velocidad MVD, del motor eléctrico de la bomba HPS .....	44
3.3.4	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Variador de Frecuencia de Velocidad VSD, del motor eléctrico de la bomba Booster.....	45
3.3.5	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Alineamiento del conjunto Motor – Bomba Booster .....	45
3.3.6	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Alineamiento del conjunto Motor – Cámara de Empuje - Bomba HPS .....	46
3.3.7	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en la bomba de inyección de productos químicos .....	46
3.3.8	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Sistema de lubricación de la Cámara de Empuje de la bomba HPS.....	46
3.4	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo ocasionado por las instalaciones.....	47
3.4.1	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo ocasionado por obstrucción del filtro de la bomba Booster:.....	47
3.4.2	Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por obstrucción de la Tubería de alimentación de agua salada a la bomba Booster: .....	48
3.5	Indicadores de funcionamiento y rendimiento.....	49
3.6	Potencial Humano.....	50

## **CAPÍTULO 4: MEJORAS Y SU IMPLEMENTACIÓN**

4.1	Mejoras en programas de mantenimiento .....	52
4.1.1	Mejoras en el mantenimiento del Sello Mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS .....	52
4.1.2	Mejoras en el mantenimiento del sello mecánico de Bomba Booster .....	53
4.1.3	Mejoras en el mantenimiento del variador de frecuencia MVD del motor eléctrico de la bomba HPS.....	54
4.1.4	Mejoras en el mantenimiento del variador de frecuencia VSD del motor eléctrico de la bomba Booster .....	55
4.1.5	Mejoras en el alineamiento del conjunto motor - Bomba Booster .....	56
4.1.6	Mejoras en el alineamiento del conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS.....	57
4.1.7	Mejoras en la bomba de inyección de productos químicos.....	58
4.1.8	Mejoras en el Sistema de lubricación de la Cámara de Empuje de la bomba HPS .....	59
4.2	Mejoras en instalaciones.....	60
4.2.1	Mejoras en filtros .....	60
4.2.2	Mejoras en tuberías de alimentación de agua salada .....	65
4.3	Mejoras en el potencial humano.....	71

## **CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5.1	Base de datos .....	72
5.2	Cuadro de pérdida económica.....	73
5.3	Cuadro de resultados de implementación de mejoras .....	74
5.4	Cuadro de resultados de ahorros logrados luego de implementación de mejoras .....	75
5.5	Índices de rendimiento económico.....	76

## **CAPÍTULO 6: COSTOS**

6.1	Costos de mejoras en las instalaciones.....	77
6.2	Costos de mejoras en equipos .....	78
6.3	Costos de capacitación del personal.....	79
6.4	Distribución de los costos.....	80

CONCLUSIONES .....	81
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83
APÉNDICE .....	84



## PRÓLOGO

El presente informe de suficiencia presenta un procedimiento para identificar oportunidades de mejora, implementar las mejoras, verificar resultados de la implementación y tomar decisiones en procura de mejorar el rendimiento económico de un sistema de reinyección de agua salada en un pozo petrolero.

En el **capítulo 1** se indica el objetivo del presente trabajo, así como las actividades que se van a realizar y las actividades que no se van a llevar a cabo.

El **capítulo 2** describe el sistema de reinyección de agua salada, sus principales componentes y una breve descripción de los conceptos de la mecánica de fluidos involucrados.

El **capítulo 3** muestra el análisis realizado para llevar a cabo el diagnóstico inicial del sistema de reinyección de agua salada, determinando las pérdidas económicas que se producen en los diferentes componentes del sistema.

En el **capítulo 4**, se identifican las oportunidades de mejora, a la vez que se implementan y se determinan los montos ahorrados por la implementación de las mejoras propuestas por el personal técnico involucrado.

En el **capítulo 5**, se lleva a cabo el análisis de los resultados obtenidos en los principales componentes del sistema de reinyección de agua salada.

En el **capítulo 6**, se establece el costo beneficio de implementar las mejoras en el sistema de reinyección de agua salada.

Se finaliza el informe presentando las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y los apéndices que complementan el presente informe de suficiencia profesional, para optar el título de ingeniero mecánico

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

En la Selva Norte del Perú, están ubicados los más grandes yacimientos de petróleo descubiertos desde la década de los años 70, denominados Lote 8 y Lote 1AB. Estos yacimientos fueron explotados, en una primera instancia, por Petróleos del Perú, y Occidental Petroleum Company (OXY), quienes consiguieron producciones de hasta 35 MBPD y 120 MBPD, respectivamente.

Posteriormente en el año 1996, se privatiza el lote 8, retirándose Petróleos del Perú y continúa la explotación del lote la empresa privada que ganó la Licitación Pública. Luego en el año 2000, Occidental Petroleum Company (OXY), se retira del lote 1AB, cediendo el lote a otra empresa privada para que continúe su explotación de petróleo.

La característica típica de los yacimientos petroleros en la selva peruana es que se encuentran a gran profundidad, a una distancia que fluctúa entre 9000 a 10500 pies en el subsuelo; caso contrario ocurre en Piura donde el hidrocarburo se encuentra más cerca de la superficie, a una distancia que fluctúa entre 900 a 7500 pies de profundidad. La profundidad de los yacimientos petroleros en la selva peruana, ocasiona que las técnicas de extracción de petróleo sean diferentes.

En la selva el petróleo es extraído, mediante técnicas de levantamiento artificial, utilizando bombas electro sumergibles (BES), de tipo centrífuga multi – etapas, que son bajadas a la profundidad indicada en el pozo y alimentadas de energía eléctrica desde la superficie por medio de un cable eléctrico tipo plano o redondo, adosado a la tubería que soporta la bomba hasta el fondo del pozo.

### 1.1 Antecedentes

El petróleo de la selva peruana, su calidad varía entre 15 y 38 grados API y en su producción sale acompañado de gas asociado en cantidades que no son comerciables, y con agua salada en gran cantidad. A la proporción de agua – petróleo, se le mide en porcentaje de volumen y se le conoce como corte de agua. Por ejemplo si el porcentaje en volumen de agua es 95%, se le denomina que el pozo es de un corte de 95.

En estos yacimientos, al inicio de la producción del pozo, el corte de agua es 0, pero de inmediato va creciendo en forma gradual y en un periodo corto de aproximadamente entre uno a dos meses, el corte de agua se incrementa, estabilizándose en un promedio de 97. Esto significa que en 100 barriles de fluido producidos por día (100 BFPD), 97 son barriles de agua salada (97 BWPD) y solamente 03 barriles son de petróleo (03 BOPD) producidos por día.

Desde el inicio de la explotación petrolera en el Perú, década del 70, el agua salada se desechaba hacia las quebradas que iban a parar a los ríos de la selva y de allí al Atlántico, contaminando la flora y fauna a lo largo de todo su recorrido.

En Octubre del año 2006, el Estado Peruano y las Comunidades Nativas, en concordancia con las exigencias mundiales de protección del planeta tierra, deciden

implementar la legislación del Estado peruano conforme a la conferencia de las Naciones Unidas celebrada en **1972** en Estocolmo, sobre el Medio Humano que culminó con la **Declaración de Estocolmo sobre el Ambiente Humano**, de 1972.

En ella se dispone que los Estados han de responsabilizarse de que las actividades que se realicen dentro de sus fronteras, jurisdicción y control no causen daño a las personas, al entorno natural ni al ambiente. En 1983 las Naciones Unidas establecieron una Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, cuyo trabajo culminó con el Informe Brundtland, a raíz de la cual la Asamblea General de las Naciones Unidas convocó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). La Conferencia, conocida como **Cumbre para la Tierra**, se celebró en **Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992**. Y se puede decir que fue un hito decisivo en las negociaciones internacionales sobre las cuestiones ambientales.

Se llegó a la conclusión de que para satisfacer "las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias", la protección del ambiente y el crecimiento económico habría de abordarse como una sola cuestión. A partir de entonces, la protección del ambiente se ha convertido en una cuestión de supervivencia para todos.

Los objetivos fundamentales de la Cumbre son lograr un equilibrio justo entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y de las generaciones futuras y sentar las bases para una asociación mundial entre los países desarrollados y los países en desarrollo, así como entre los gobiernos y los sectores de la sociedad civil, sobre la base de la comprensión de las necesidades y los intereses comunes.

Por las exigencias mundiales expuestas, se lleva a cabo una reunión en las mismas instalaciones de producción de petróleo, con la participación de representantes de alto nivel del Ministerio de Energía y Minas, del Ministerio de Salud, de la Empresa petrolera que explotaba el petróleo, de la Federación de Comunidades Nativas del río Corrientes (FECONACO), de los APUS de las comunidades indígenas del río Corrientes, de la Defensoría del Pueblo, de INDEPA y del Gobierno Regional de Loreto, reunión en la que como resultado de lo tratado, se firma un Acta de compromiso, para que la empresa petrolera se comprometa a instalar sistemas similares a los existentes en las industrias petroleras del resto del mundo, que consiste en reinyectar el agua salada en otros pozos, y de esta manera no contaminar el ambiente.

La empresa petrolera, envió personal a investigar y obtener información de los sistemas de reinyección existentes en países vecinos y es así que desde Julio del año 2007, se pone en marcha el primer sistema de reinyección de agua salada, culminando en Marzo del 2009, con la instalación del último de los Sistemas de Reinyección de Agua Salada en todas sus instalaciones petroleras.

## **1.2 Objetivo**

El objetivo del presente informe de suficiencia profesional es el de proponer mejoras en Sistema de Reinyección de Agua Salada del pozo VICH 07, considerando técnicas de mantenimiento en los equipos e instalaciones, para minimizar las pérdidas de producción de petróleo.

### 1.3 Justificación

Desde Marzo del 2009, existe un Lema en la Industria Petrolera de la selva peruana: **Agua que no se puede reinyectar, significa pozo que no produce porque se tiene que parar, hasta tener el Sistema de Reinyección de Agua Salada.**

El lema indicado se ha hecho extensivo a todas las instalaciones de extracción de petróleo, y en la actualidad está estrictamente prohibido hacer funcionar máquinas con fugas que contaminan el ambiente.

Por tal motivo, ante la presencia de fugas por bridas, pits de corrosión en tuberías, fugas por sellos de bombas y otras fallas causantes de fugas de agua salada en general, de inmediato se debe detener el equipo y proceder a su reparación. El equipo sólo puede volver a operar cuando se haya terminado la reparación que elimine la fuga.

### 1.4 Alcance

El presente informe de suficiencia profesional cubre los aspectos de: diagnóstico inicial del Sistema de Reinyección de Agua Salada, ya instalado en el pozo VICH 07, identificación de las oportunidades de mejoras, la propuesta de mejoras, implementación de dicha propuesta y verificación que no se esté contaminando el ambiente, incluyendo los costos demandados.

No cubre los planos de las modificaciones, pues esta función es labor de la unidad de proyectos.

## **1.5 Descripción del trabajo**

Se inició el trabajo determinando la pérdida de producción de barriles de petróleo por día, funcionando el sistema con las instalaciones realizadas por la unidad de proyectos. Para lo cual se obtuvo datos de tiempos de parada por mantenimientos de instalaciones, equipos e instrumentos de medición y control, así como el tiempo que demoraba el personal a cargo en detectar de manera oportuna anomalías en el sistema de producción de petróleo.

Se recaba información en la literatura así como en la experiencia de Ecuador que tenía sistemas de reinyección de agua salada; con la finalidad de aprovechar la experiencia en el manejo de estos sistemas de reinyección. Se utilizó el método de prueba y error, y de esta manera seguir avanzando hacia una solución final para cuidar el ambiente, y la compañía pueda seguir operando.

Se acortó los tiempos de limpieza de filtros y tuberías, se prepararon canastillas para cambio rápido de filtros; en las tuberías se instalaron elementos para monitorear la presión y el espesor de diámetro interno, a fin de determinar los tiempos de intervención del personal capacitado en el mantenimiento de las tuberías y filtros.

Esto significa la aplicación del mantenimiento preventivo. Llevé a cabo reuniones con el personal técnico para realizar una tormenta de ideas, afinidad, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, con el propósito de continuar reduciendo las pérdidas de producción de petróleo.

De manera permanente se ha llevado el control de las pérdidas de petróleo y de inmediato se efectuaron las correcciones obtenidas del uso de las herramientas de gestión descritas en el párrafo anterior, y así se ha llegado a que el

sistema opere sin interrupciones imprevistas, logrando minimizar las pérdidas de producción de petróleo, pues las paradas que se llevan a cabo son las previstas en el programa de mantenimiento.

Finalmente, el programa de mantenimiento está sometido a la herramienta de mejora continua PHVA, la cual está dando resultados en la disminución continua de las pérdidas de producción de petróleo.



## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA SALADA**

El Sistema de Reinyección de Agua Salada hacia los pozos de donde se extrae el petróleo, es una práctica común en la Selva del Perú, desde hace una década. Esto se realiza para proteger el ambiente del efecto de la sal y de los sólidos contenidos en el agua que acompaña al petróleo crudo que se extrae del subsuelo.

A medida que se extrae el petróleo, el contenido de agua salada se incrementa, llegando a una situación en que el promedio es de 97% de agua salada vs 3% de petróleo crudo, mas algo de gas asociado en cantidades que no son comerciables.

#### **2.1 Reseña histórica**

Desde el inicio de la explotación petrolera en el Perú, década del 70, el agua salada se desechaba hacia las quebradas que iban a parar a los ríos de la selva y de allí al Océano Atlántico, contaminando la flora y fauna a lo largo de todo su recorrido.

Debido a las exigencias mundiales de protección del medio ambiente, en el año 2006, el Estado Peruano y las Comunidades Nativas exigen a las empresas petroleras instaladas en la selva peruana para que incorporen en su proceso productivo el desarrollo de proyectos para implementar técnicas de reinyección del agua salada a los yacimientos del subsuelo de donde provinieron.

De esa manera entre los años 2007 a 2009, se ejecutan los proyectos de montaje y puesta en servicio de los sistemas de reinyección de agua salada y se cumple con la eliminación de seguir vertiendo el agua salada al ambiente.

## **2.2 Sistema de producción de petróleo con bombas electro sumergibles (BES)**

### **EL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE**

La fuerza de empuje que desplaza al petróleo de un yacimiento proviene de la energía natural de los fluidos comprimidos almacenados en el yacimiento. La energía que realmente hace que el pozo produzca es el resultado de una reducción en la presión entre el yacimiento y la cavidad del pozo. Si la diferencia de presión entre el yacimiento y las instalaciones de producción de la superficie es lo suficientemente grande, el pozo fluirá naturalmente a la superficie utilizando solamente la energía natural suministrada por el yacimiento.

La producción de petróleo por métodos artificiales es requerida cuando la energía natural asociada con los fluidos no produce una presión diferencial suficientemente grande entre el yacimiento y la cavidad del pozo como para levantar los fluidos del yacimiento hasta las instalaciones de superficie, o es insuficiente para producir a niveles económicos.

El bombeo electro sumergible es un sistema integrado de levantamiento artificial, es considerado como un medio económico y efectivo para levantar altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo. Es más aplicable en yacimientos con altos porcentajes de agua y baja relación gas-aceite; en la actualidad estos equipos han obtenido excelentes resultados en la producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos gasíferos, en pozos con fluidos abrasivos, en pozos de altas temperaturas y de diámetro reducido.

Los componentes del sistema de bombeo electro sumergible pueden ser clasificados en el equipo de fondo y el equipo de superficie. El equipo de fondo cuelga de la tubería de producción y cumple la función de levantar la columna de fluido necesaria para iniciar la producción del pozo. Consiste principalmente de un motor eléctrico, un sello, un separador de gas y una bomba electro centrífuga. Un cable de poder que transmite la energía eléctrica de la boca del pozo hasta el motor.

El equipo de superficie provee de energía eléctrica al motor electro sumergible y controla su funcionamiento. Los principales componentes de superficie son los transformadores, el tablero o variador de control (Electrostart, Electrospeed), y la caja de venteo. Varios componentes adicionales normalmente incluyen la cabeza de pozo, empacadores, protectores de cable y flejes, válvulas de retención y de drenaje, entre otros.

Opcionalmente se puede incluir un sensor de presión de fondo de pozo y temperatura para observar las condiciones en la cavidad del pozo.

Este es el tipo más común de instalación y utilizado como estándar para comparar otros tipos de configuraciones de instalación. En este tipo de aplicación, la unidad es instalada por encima de los intervalos perforados. El fluido producido es forzado a moverse hacia arriba pasando por el motor, absorbe el calor generado en el mismo y lo enfría.

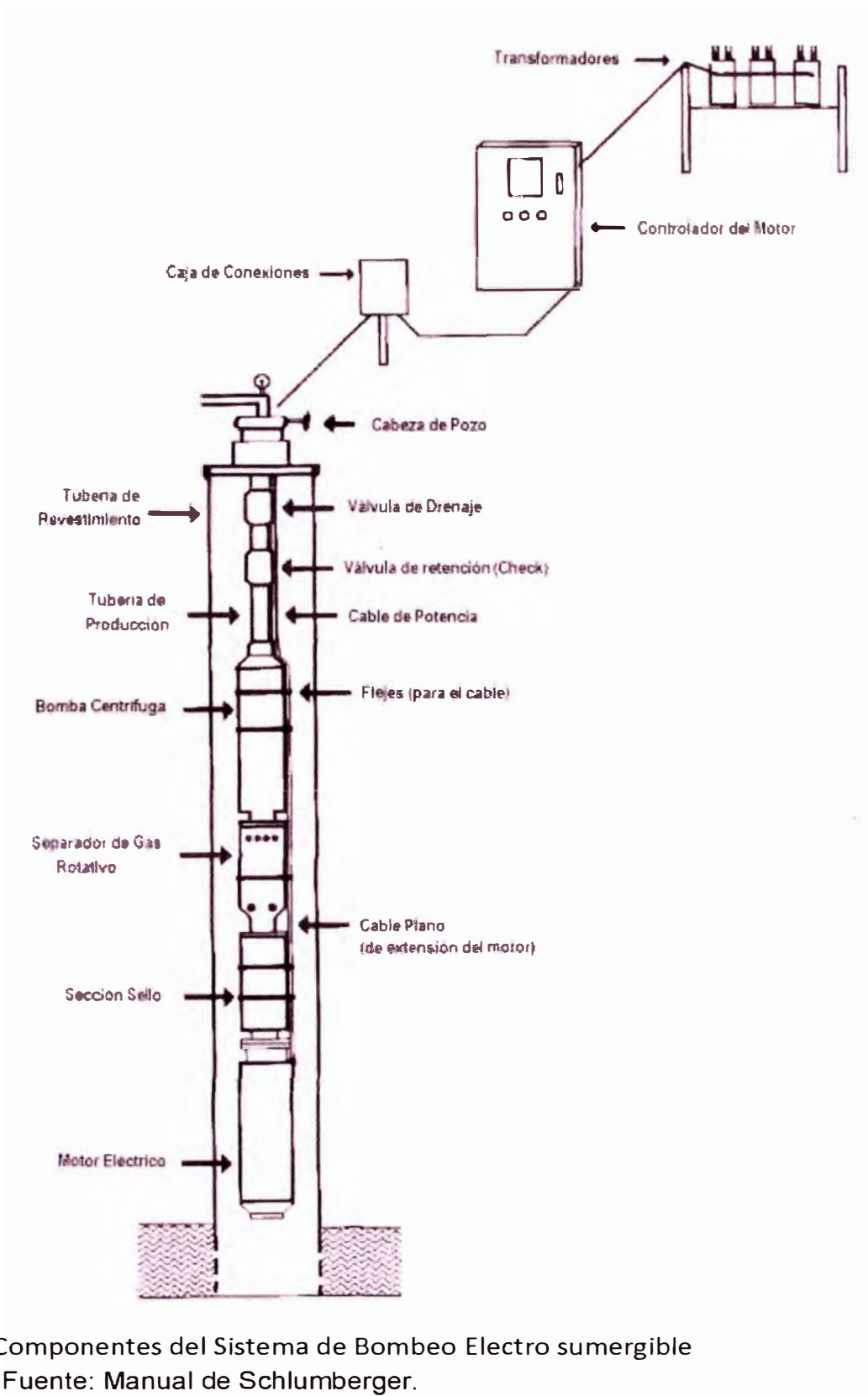


Fig. 2.1 Componentes del Sistema de Bombeo Electro sumergible  
Fuente: Manual de Schlumberger.

## TEORÍA HIDRÁULICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

Las bombas electro sumergibles están construidas de una serie de etapas (impulsores y difusores) superpuestas una sobre otra para lograr obtener la altura de columna deseada. La bomba centrífuga convierte la energía mecánica en energía hidráulica en el seno del líquido que está siendo bombeado. Esta energía se presenta como energía de velocidad, energía de presión, o ambas.

La bomba electro sumergible opera con mayor eficiencia cuando solo líquidos pasan a través de la bomba. La producción de gas libre a través de la bomba reduce su eficiencia y tiene un efecto negativo en la cantidad de columna generada.

La magnitud de la degradación de columna dinámica de fluido (TDH) depende en parte de la presión de entrada a la bomba (PIP), al disminuir la presión PIP se magnifica el efecto del gas libre en la columna dinámica de fluido. El aumento en la cantidad de gas libre dentro de la bomba reduce la columna de fluido generada y aumenta el riesgo de que la bomba se trabe debido a "gas lock".

La columna TDH calculada teóricamente es una aproximación de la columna de fluido real generado por un impulsor. En el estudio teórico se asume un flujo unidimensional en el que se descartan movimientos secundarios y se asume que el fluido recorre exactamente los pasajes entre los alabes del impulsor y sale del impulsor con una dirección tangencial a la superficie de los alabes (número infinito de alabes).

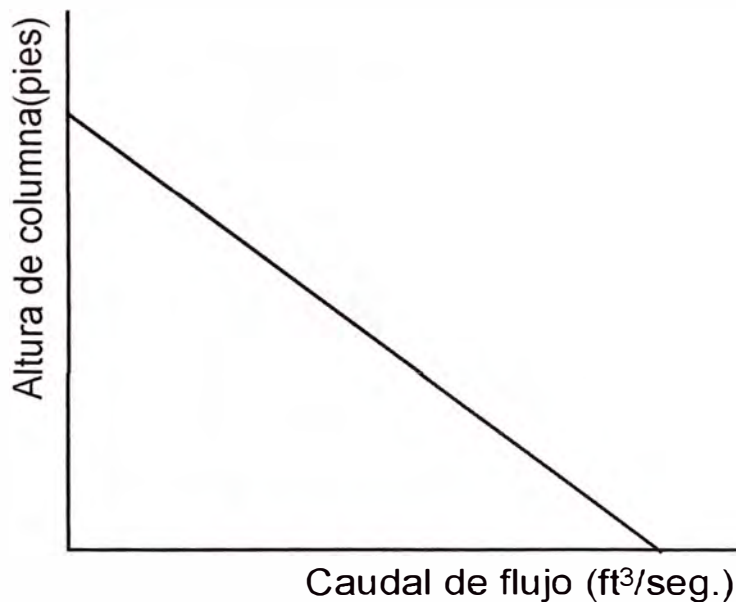


Fig. 2.2 Curva altura vs caudal  
Fuente: Schlumberger

La columna actual de fluido desarrollada por la bomba es menor que la calculada teóricamente. Debido a las pérdidas que ocurren dentro de cada etapa de la bomba. En general las pérdidas en la bomba pueden ser clasificadas en pérdidas por escape, hidráulicas, mecánicas y pérdidas del impulsor.

**Pérdidas por escape:** Estas ocurren cuando el fluido se filtra entre los espacios del impulsor y el difusor.

**Pérdidas hidráulicas:** Estas se desarrollan debido a la complejidad del patrón de flujo dentro del impulsor. La magnitud de esta variable aumenta al introducir gas libre dentro de la bomba.

**Pérdidas del impulsor:** Estas ocurren debido a la fricción entre las paredes del impulsor y el fluido, las pérdidas por los cambios en el área del impulsor

ocupada por el fluido, y las pérdidas ocasionadas por la circulación del fluido dentro de las cavidades del impulsor. Este último puede ser teóricamente reducido mediante el uso de un mayor número de álabes en el impulsor, lo cual mejora la circulación del fluido.

La cantidad de columna actual desarrollada por una etapa es menor que la calculada teóricamente mediante la ecuación de Euler. La Figura 2-3, muestra la curva que describe la relación entre el caudal y la altura de columna la cual cambia de acuerdo a la geometría de la bomba.

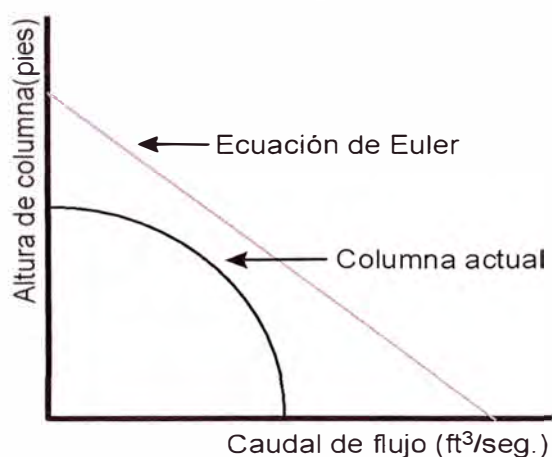


Fig. 2.3 Curvas altura vs caudal  
Fuente: Schlumberger

La bomba tiene, para una velocidad y una viscosidad del fluido estándares, una curva de desempeño que indica la relación entre la altura de columna desarrollada por la bomba y el gasto que circula a través de la bomba. Esta curva se basa en el desempeño actual de la bomba en condiciones específicas.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA

En una curva típica de rendimiento se puede apreciar el comportamiento de la eficiencia de la bomba, la potencia requerida y el rango óptimo de operación en función de la tasa de descarga, la cual depende de la velocidad de rotación, tamaño del impulsor, diseño del impulsor, número de etapas, la cabeza o columna dinámica en contra de la cual la bomba debe operar y las propiedades físicas del fluido a bombear.

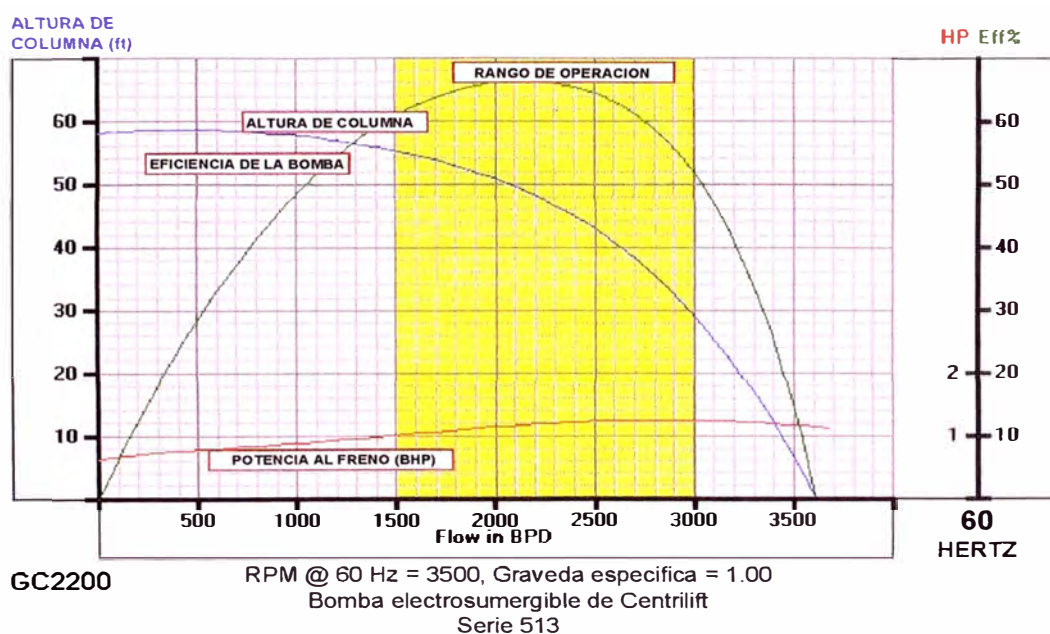


Fig. 2.4 Curva característica para una etapa a 60 Hertz

Fuente: Schlumberger

**La curva de Altura de columna:** es trazada utilizando los datos de desempeño reales. Como puede observarse, cuando la capacidad aumenta, la altura de columna total (o presión) que la bomba es capaz de desarrollar se reduce. Generalmente, la columna más alta que una bomba puede desarrollar, se desarrolla en un punto en que no hay flujo a través de la bomba; esto es, cuando la válvula de descarga está completamente cerrada.

**La curva de Potencia al Freno (BHP):** se traza con base en los datos de la prueba de desempeño real. Esta es la potencia real requerida por la bomba centrífuga, tomando como base los mismos factores constantes que se mencionaron anteriormente, para entregar el requerimiento hidráulico.

**Rango de Operación:** Este es el rango en el cual la bomba opera con mayor eficiencia. Si la bomba se opera a la izquierda del rango de operación a una tasa de flujo menor, la bomba puede sufrir desgaste por empuje descendente (downthrust). Si la bomba se opera a la derecha del rango de operación a una tasa de flujo mayor, la bomba puede sufrir desgaste por empuje ascendente (upthrust).

**La Eficiencia de la bomba centrífuga:** no se puede medir directamente, debe ser computada de los datos de la prueba ya medidos. La fórmula para calcular el porcentaje de eficiencia es:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Alt. de columna} \cdot \text{Capacidad} \cdot \text{Gravedad Específica} \cdot 100}{3,960 \cdot \text{BHP}}$$

Donde: Alt. columna = Pies

Capacidad = Galones/minuto

BHP = Potencia al freno (HP)

## EMPUJES EN LA BOMBA

**Empuje Axial en la Bomba:** hay dos zonas donde se produce el empuje en una bomba. El primero es producido por las presiones del fluido ( $P_T$  &  $P_B$ ) en el impulsor (Figura. 2-5). La presión del fluido en el área superior del cuerpo del

impulsor ( $A_T$ ) produce una fuerza hacia abajo en el impulsor. La presión del fluido en el área inferior del impulsor ( $A_B$ ) y la fuerza de inercia ( $F_M$ ) del fluido haciendo un giro de 90 grados en la entrada producen una fuerza hacia arriba. La sumatoria de estas fuerzas se denomina fuerza de empuje del impulsor ( $F_I$ ).

$$F_I = P_T A_T - P_B A_B - F_M$$

**Eje:** la segunda zona de empuje es producida por las presiones del fluido actuando sobre el extremo del eje de la bomba (Figura. 2-6) y se conoce como empuje del eje ( $F_S$ ). En este caso, la presión ( $P_D$ ) producida por la bomba menos la presión de entrada de la bomba ( $P_E$ ) actuando en el área del eje ( $A_S$ ) produce una fuerza hacia abajo ( $F_S$ ).

$$F_S = (P_D - P_E) A_S$$

**Impulsor Fijo (o de Compresión) vs. Impulsor Flotante:** El método del manejo del empuje ejercido por una bomba varía dependiendo del tipo de impulsor. La etapa de la bomba de impulsor fijo tiene sus impulsores montados en el eje de tal forma que no se les permite moverse o deslizarse axialmente sobre el mismo. Los impulsores están localizados de manera tal que están girando dentro de un espacio limitado por una distancia mínima a los difusores ubicados arriba y abajo de estos. Por lo tanto, el empuje del impulsor ( $F_I$ ) es transferido al eje de la bomba. El cojinete de empuje de la sección de sello tiene que llevar el empuje total ( $F_T = F_I + F_S$ ) de la bomba.

La etapa de la **bomba de impulsor flotante** permite que su impulsor se mueva axialmente por el eje tocando las superficies de empuje del difusor. La etapa soporta y absorbe el empuje del impulsor ( $F_I$ ). El empuje es transferido a

través de las arandelas de empuje al difusor y al alojamiento. Por lo tanto, la sección de sello solamente soporta el empuje del eje ( $F_S$ ) como se muestra en la Figura 2-6 ( $F_S$  o  $F_T = F_S$ ).

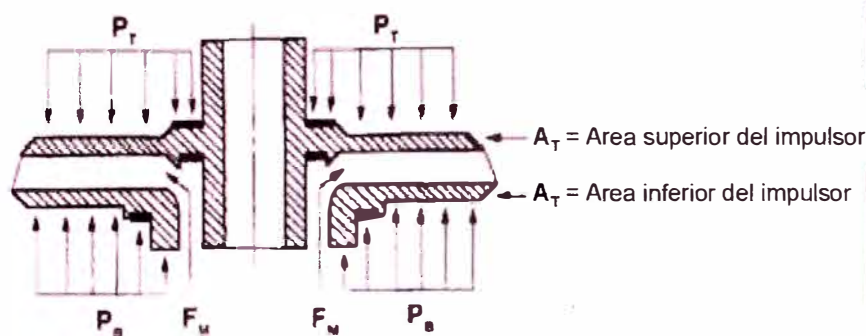


Fig. 2.5 Empuje axial

Fuente: Manual REDA.

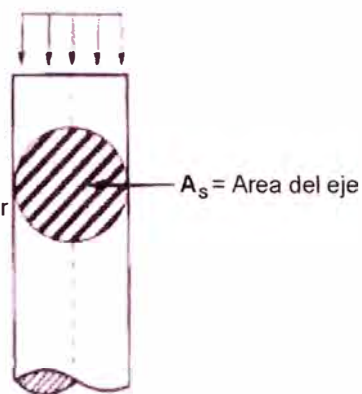


Fig. 2.6 Empuje del eje

Fuente: Manual REDA

Es un concepto errado pero muy común pensar que el impulsor flota entre las superficies de empuje del difusor a un flujo óptimo. Cuando el impulsor alcanza o se acerca a su punto de empuje equilibrado ( $F_I=0$ ), empezará a ser inestable y comenzará a oscilar hacia arriba y hacia abajo. Por este motivo los impulsores están diseñados para ser estables o para presentar un leve empuje hacia abajo a su volumen de diseño óptimo y para pasar por esta región de transición a un caudal más alto. En la figura 2-7 se observa una curva de empuje típica de una bomba centrífuga.

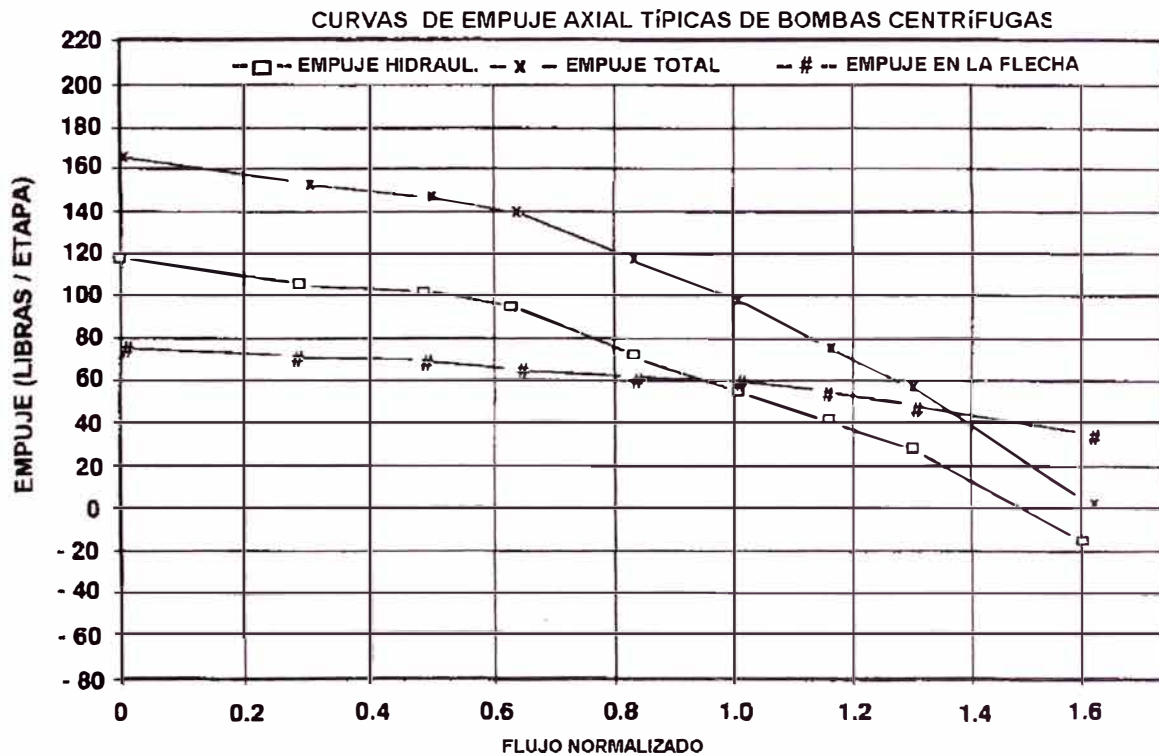


Fig. 2.7 Curvas de empuje axial

Fuente: Manual de REDA.

## LEYES DE AFINIDAD

Al cambiar la velocidad operacional de una bomba centrífuga, las características de desempeño de la bomba cambiarán respectivamente. Estos cambios se pueden predecir mediante el uso de las Leyes de Afinidad, las cuales gobiernan el desempeño de la bomba centrífuga, a medida que ocurren cambios en la velocidad de operación. Las Leyes de Afinidad se derivan del análisis a dimensional de las máquinas rotativas.

Las leyes muestran que para condiciones dinámicamente similares o relativamente comunes, algunos parámetros adimensionales permanecen constantes. Cuando se aplican a cada punto sobre una curva de desempeño altura de columna-caudal, estas leyes demuestran como con cambios de velocidad de

operación: la capacidad es directamente proporcional a la velocidad; la altura de columna generada es proporcional al cuadrado de la velocidad; la potencia al freno es proporcional al cubo de la velocidad; y la potencia generada por el motor es directamente proporcional a la velocidad. La relación matemática entre estas variables se puede ilustrar de la siguiente forma:

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

$$H_2 = H_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

$$BHP_2 = BHP_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

$$MHP_2 = MHP_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$$

Donde:  $Q_1$ ,  $H_1$ ,  $BHP_1$ ,  $MHP_1$  y  $N_1$  son valores iniciales de Caudal de producción, Altura de columna, Potencia al freno, Potencia generada por el motor y Velocidad.

$Q_2$ ,  $H_2$ ,  $BHP_2$ ,  $MHP_2$  y  $N_2$  son valores nuevos de Caudal de producción, Altura de columna, Potencia al freno y Velocidad.

Usando las leyes de afinidad se pueden construir las curvas de desempeño para cualquier velocidad dada, para predecir el comportamiento de la bomba partiendo de una velocidad determinada. Para cualquier punto en la curva de velocidad estándar, se pueden encontrar puntos equivalentes en las nuevas curvas

de velocidad que tengan condiciones hidráulicas casi idénticas; patrón de flujo, equilibrio del empuje axial del impulsor y eficiencia de bombeo.

Las Leyes de Afinidad no predicen la respuesta real de la bomba a los cambios de velocidad en un pozo real, simplemente relacionan los puntos en curvas de velocidades diferentes. Antes de que el comportamiento del sistema pueda ser analizado en su totalidad, se deben considerar conjuntamente tanto las características de la bomba como las del pozo.

## **CAVITACIÓN**

Se define como el proceso de formación de una fase gaseosa en un líquido cuando es sujeto a una reducción de presión a una temperatura determinada y constante. Un líquido se encuentra en cavitación cuando se observa la formación y crecimiento de burbujas de vapor (gas) como consecuencia de reducción en presión.

En una bomba centrífuga este efecto se puede explicar de la siguiente forma. Cuando un líquido entra al ojo del impulsor de la bomba, es sometido a un incremento de velocidad. Este incremento de velocidad está acompañado por una reducción en la presión. Si la presión cae por debajo de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, el líquido se vaporizará y por lo tanto se tendrá como resultado el flujo del líquido más zonas de vapor. A medida que el fluido avanza a través de los sucesivos impulsores, el líquido alcanza una región de presión más alta y las cavidades de vapor derrumban.

Los efectos más obvios de cavitación son el ruido y la vibración, los cuales son causados por el colapso de las burbujas de vapor a medida que alcanzan la zona de alta presión del impulsor. La vibración causada por este efecto puede

resultar en la ruptura del eje y otras fallas por fatiga en la bomba. La cavitación también puede dar origen al desgaste de los componentes de la bomba ocasionados por corrosión o erosión. En las bombas electro sumergibles usadas en la industria del petróleo, la cavitación raramente ocurre. Este problema no ocurrirá si la bomba está diseñada adecuadamente y opera con suficiente presión de entrada.

### **BLOQUEO POR GAS**

En la industria petrolera el bloqueo por gas en una bomba electro centrífuga se presenta cuando existe una cantidad excesiva de gas libre en el fluido bombeado a la entrada de la bomba. El bloqueo por gas puede considerarse como una forma de cavitación, debido a la presencia de gas libre en la bomba. En un pozo que tenga una cantidad excesiva de gas libre, debe mantenerse una cierta presión de succión para controlar la cantidad que ingresa a la bomba y evitar el bloqueo por gas.

### **POTENCIA HIDRÁULICA**

La energía de salida de una bomba se deriva directamente de los parámetros de descarga (Caudal de flujo y altura de columna generada). La potencia hidráulica para el agua, con gravedad específica = 1.0, pueden ser determinada como sigue:

$$\text{Potencia hidráulica} = \frac{\text{Caudal} \cdot \text{Altura de Columna Generada} \cdot \text{Gravedad Especifica}}{3,960}$$

Donde: Caudal en Galones/Minuto. (GPM)

Altura de columna generada en pies



## POTENCIA AL FRENO

Es la potencia total requerida por una bomba para realizar una cantidad específica de trabajo. Se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Potencia al Freno (BHP)} = \frac{\text{Potencia Hidráulica}}{\text{Eficiencia de la Bomba}}$$

$$\text{Potencia al Freno (BHP)} = \frac{\text{GPM} \cdot \text{Altura de Columna (ft)} \cdot \text{Gravedad Específica}}{3,960 \text{ Eficiencia de la Bomba}}$$

### 2.3 Sistema de reinyección de agua salada

La Figura 2.8 muestra el esquema del sistema de reinyección de agua salada, tal cual fue instalada por la unidad de proyectos. Este sistema permite eliminar el vertimiento al ambiente.

La mezcla de la *producción extraída*, compuesta por Petróleo crudo, agua salada y gas, ingresan inmediatamente que salen de la boca del pozo productor, por unos separadores trifásicos (recipientes horizontales), en donde por diseño en su interior existen conductos tipo laberinto que obligan a la separación de los componentes del fluido, por diferencia de densidades. Del separador trifásico sale por la parte superior el gas, por la parte intermedia el petróleo crudo y por la parte inferior el agua salada, con emulsión.

El agua salada es almacenada en un tanque Skimmer (TK-101), donde se le aplica tratamiento con productos químicos y decantación, a fin de separar y minimizar la presencia del aceite en el agua (OIW) y de minimizar la presencia de sólidos en suspensión en el agua (TSS). El petróleo que es recuperado, se

reprocesa mediante bombeo al tanque de almacenamiento de petróleo crudo. El agua salada con mínima cantidad de aceite y sólidos pasa al tanque de almacenamiento, de donde se alimenta hacia el Sistema de Reinyección.

Cuadro 2.1 Tolerancias permisibles

<b>CONTROLES DE AGUA SALADA</b>	<b>MEDICIÓN DE TOLERANCIAS PERMISIBLES</b>
Control de aceite en el Agua (OIW):	< 20 ppm
Control de Sólidos Totales en suspensión (TSS):	< 20 ppm
Control de Corrosión (pérdida de espesor de pared, medido en mpy):	< 5 mpy

Fuente: Elaborado a partir de datos extraídos de campo

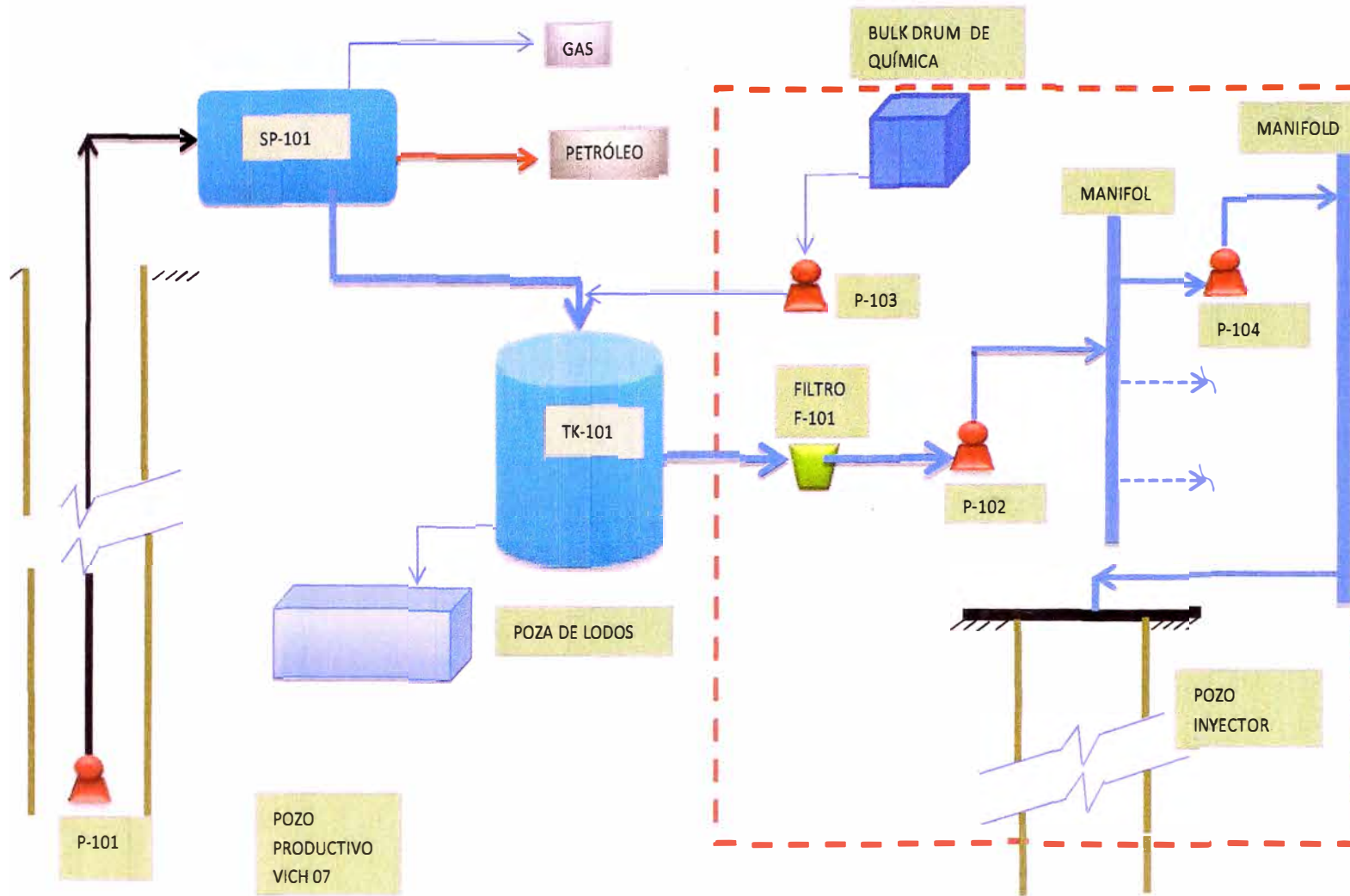


Fig. 2.8 Sistema de Reinyección de agua salada.

Fuente: Elaboración propia a partir de instalación física dejada por la unidad de proyectos

El Sistema de Reinyección está compuesto por: Filtro (F-101) para atrapar y separar sólidos en suspensión, tubería de admisión hacia la bomba Booster, bomba Booster (P-102), tubería de descarga de la bomba Booster, manifold de admisión de la bomba HPS, bomba HPS (P-104), tubería de descarga de la bomba HPS hacia la boca del pozo inyector, arrancador variador de frecuencia (VSD) del motor eléctrico de la bomba Booster, arrancador variador de frecuencia (MVD) del motor eléctrico de la bomba HPS y el pozo reinyector.

La función de la bomba Booster es proporcionar el caudal requerido por la bomba HPS y elevar la presión del agua hasta un promedio de 220 psi, siendo esta última la presión requerida en la succión de la bomba HPS, quien finalmente la eleva hasta un promedio de 2200 psi, para efectuar la reinyección del agua salada, realizándose su retomo al subsuelo hacia el yacimiento del pozo reinyector.

#### **2.4 Bomba para reinyección de agua salada (HPS)**

**Bomba HPS:** HPS (Horizontal Pump System), es una bomba centrífuga horizontal instalada en superficie, usada para el bombeo de inyección de agua a alta presión a los pozos.

El Sistema de HPS está compuesto por los siguientes elementos:

- **Bomba HPS Multietapas**, que eleva la presión del fluido desde 220 psi hasta 2,200 psi, en la descarga para inyectar el agua salada al pozo reinyector. Para contrarrestar el empuje axial lleva instalada una cámara de empuje, que absorbe el empuje axial, protegiendo de esta manera al motor eléctrico.

- **Motor Eléctrico** de 1500 HP, transmite la Potencia requerida por la bomba para su funcionamiento.
- **Variador de Frecuencia**, en Media Tensión – 4,16 KV (MVD), utilizado para el arranque suave del equipo y para controlar su velocidad de trabajo dependiendo de las necesidades operativas.
- **Panel de Control**, para monitorear las señales de los parámetros de operación se encuentren dentro de tolerancias permitidas (presiones, temperaturas, vibraciones)

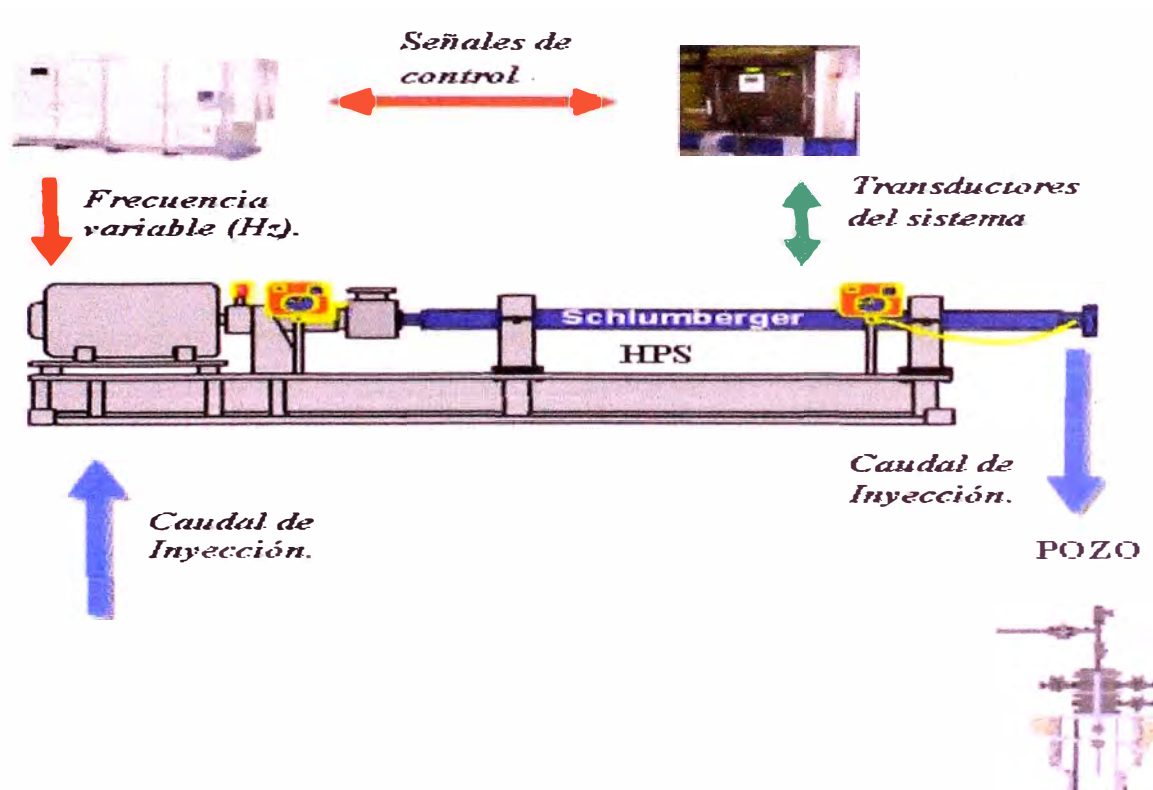


Fig. 2.9 Esquema de la Bomba HPS

Fuente: Catálogo Schlumberger



Fig. 2.10 Foto de la Bomba HPS

Fuente: Foto de campo

## PROCEDIMIENTO PARA EL ARRANQUE DEL EQUIPO

Los técnicos de la firma Schlumberger, dejaron el siguiente procedimiento a seguir:

Verificar que no haya voltajes en el sistema de arranque del motor.

- Verificar que el equipo este detenido (cerrar válvulas si es necesario).

Referencia media hora.

Verificar resistencia y aislamiento del motor.

- Energizar sistema de superficie.
- Comprobar adecuada frecuencia de arranque.
- Comprobar adecuado voltaje de arranque.

No usar By Pass para el arranque en las alarmas del MVD.

Considerar los tiempos de seteo para cada parámetro de protección.

- Instalar instrumentos de medida para verificar lecturas de arranque.
- Dar arranque con baja frecuencia.

Verificar lecturas de Corriente y Voltaje, descartar trabamiento.

- Subir frecuencia con pasos de 2 Hz.

Tomar lecturas finales de corriente y voltaje a la frecuencia de trabajo.

- Verificar presión y fluido en cabeza de pozo.
- Reportar motivo de parada a Producción.

## **2.5 Bomba para alimentación de agua salada a las bombas hps (BOMBA BOOSTER)**

**Bomba Booster:** Bomba elevadora de presión. Se utilizan para proveer la presión de succión necesaria en bombas de cabeza de succión positiva

La bomba booster tiene como función principal la de abastecer el caudal suficiente para el funcionamiento correcto de la bomba HPS (20,000 BPD), en la presión adecuada para que la bomba HPS tenga en la succión una presión promedio de 220 psi. Con estas condiciones la bomba HPS garantiza una presión de descarga de 2,200 psi, empleados para la reinyección de agua en el pozo reinyector.

### **CARACTERISTICAS DE LA BOMBA BOOSTER:**

- Marca : GOULDS
- Modelo : 3410 L
- Tipo : Centrífuga carcasa partida aspiración doble de una etapa
- Tamaño : 6x8-22
- HDT de diseño : 530 pies
- Velocidad de diseño : 1800 RPM
- Caudal : 1,749 GPM

- Ps : 7 psi (mín)
- Pd : 220 psi
- Material : Hierro dúctil
- Temp. Trab. : 350 °F (177°C)
- Impulsor - El impulsor es de diseño de doble aspiración, en (bronce), (hierro fundido), (316 acero inoxidable) y balanceado dinámica e hidráulicamente. El impulsor es accionado por la chaveta y fijado axialmente por media de mangas. Todas las superficies exteriores están totalmente maquinadas para instalación de anillos de desgaste.

#### CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO

MARCA:	GENERAL ELECTRIC MOTOR
POTENCIA:	500 HP
NÚMERO DE POLOS	4
VOLTAJE:	480 V.
CORRIENTE:	522 AMP.
HZ:	60
FRAME:	5013S
ENCLOSURE:	TEFC
INSULATION CLASS:	F



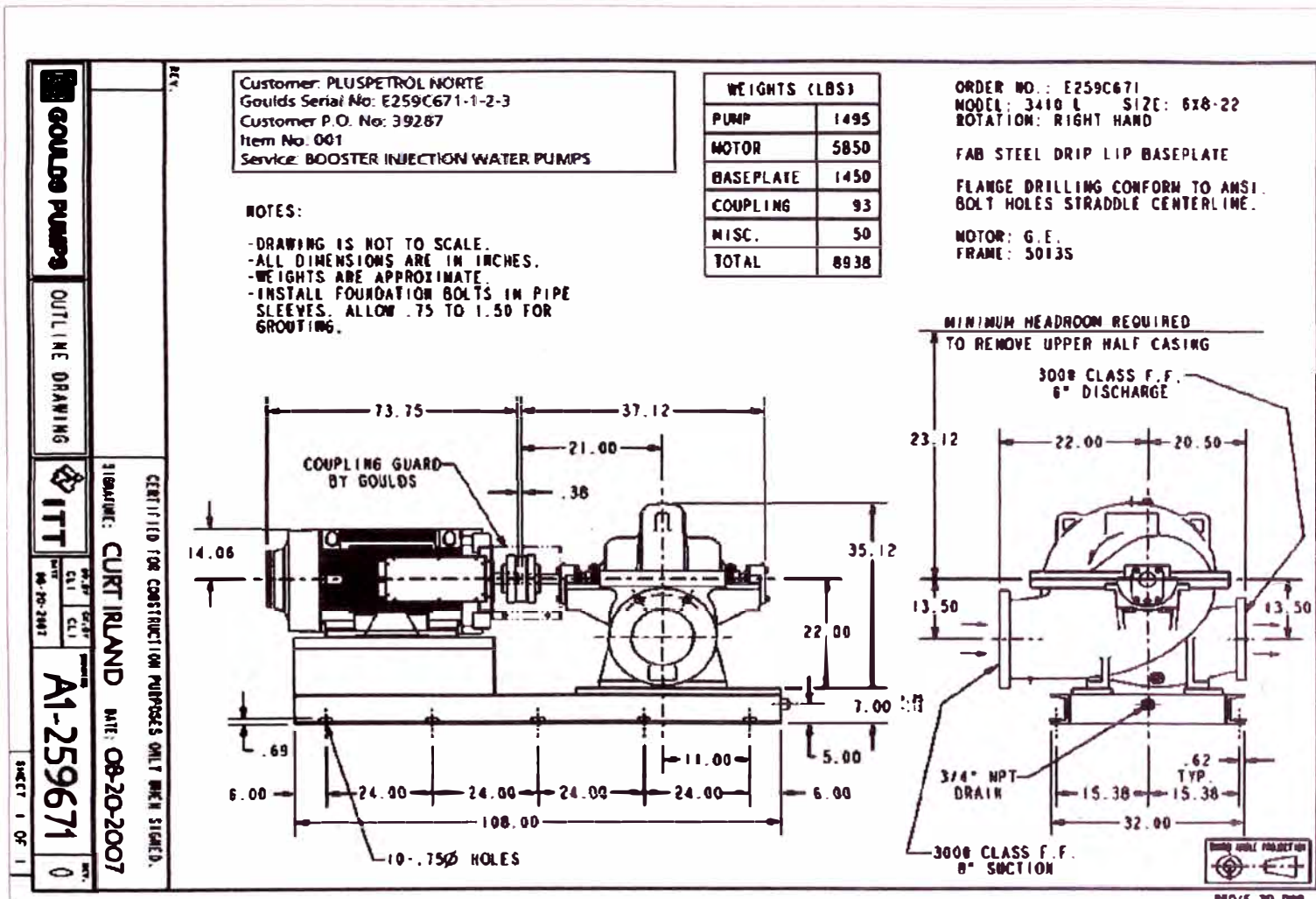
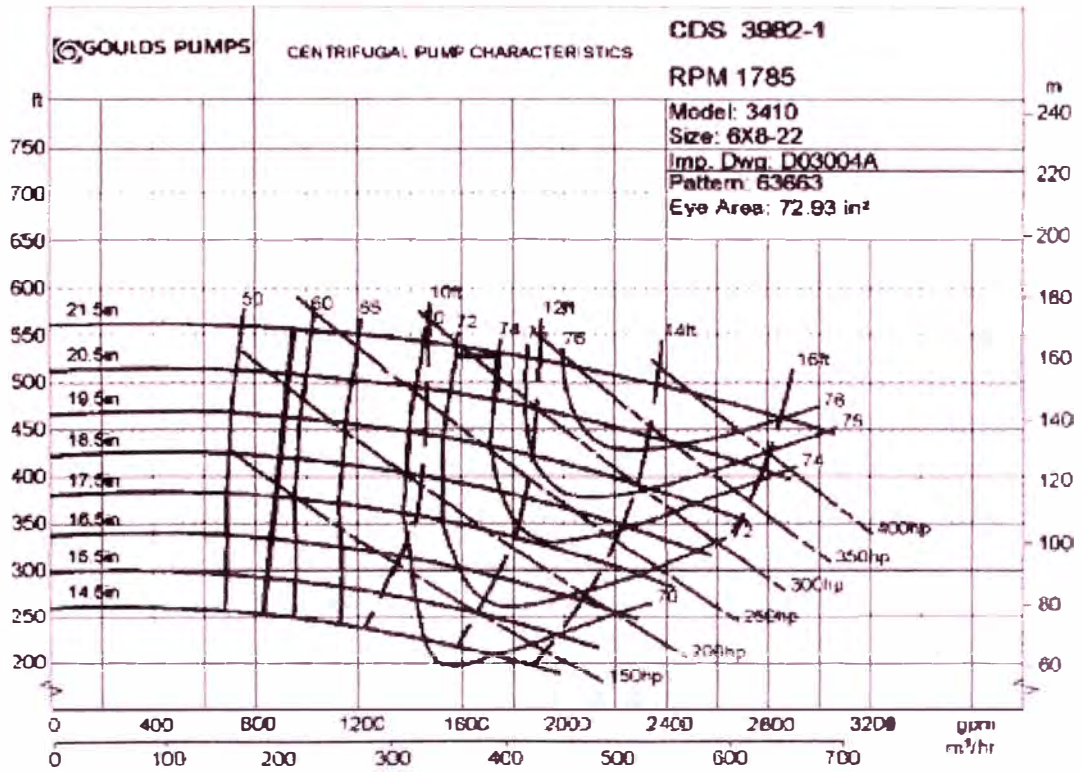


Fig. 2.11 Bomba Booster  
 Fuente: ITT GOULDS PUMPS



Rated Flow: 1,749.0 gpm  
 Rated TDH: 530.0 ft  
 Imp. Diam: 21.5000 in  
 Certified By: Joyce Sutterby

Customer: PLUSPETROL NORTE  
 Goulds Serial No: E259C671-1-2-3  
 Customer P.O. No: 39287  
 Item No: 001  
 Service: BOOSTER INJECTION WATER PUMPS



Fig. 2.12 Curva característica de la bomba Goulds 3410

Fuente: ITT GOULDS PUMPS

Model number: 500P42096004B5 Version: V0000000001 Tuesday, August 14, 2007

Marks

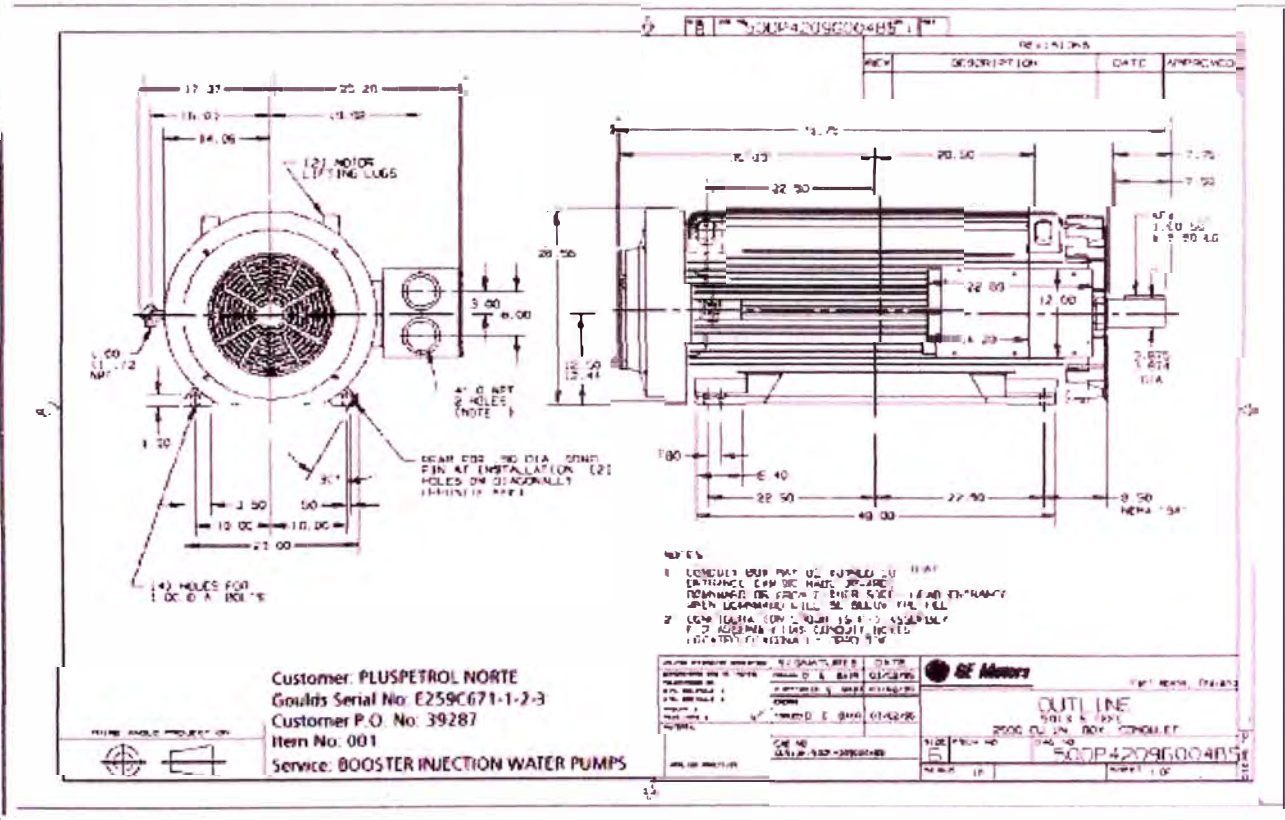


Fig. 2.13 Motor eléctrico de bomba booster  
 Fuente: ITT GOULDS PUMPS

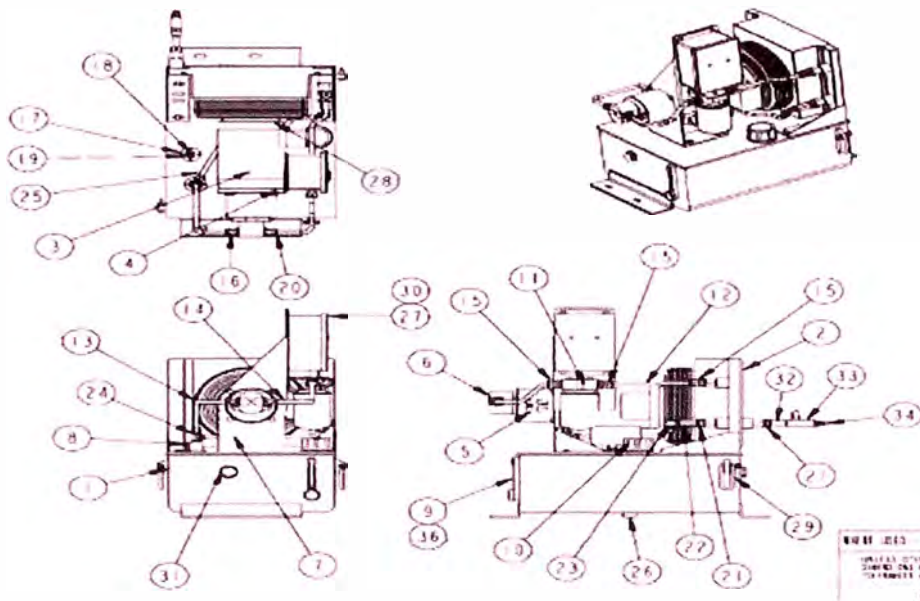


Fig. 2.14 Sistema de enfriamiento aceite de cámara de empuje  
Fuente: Catálogo Schlumberger

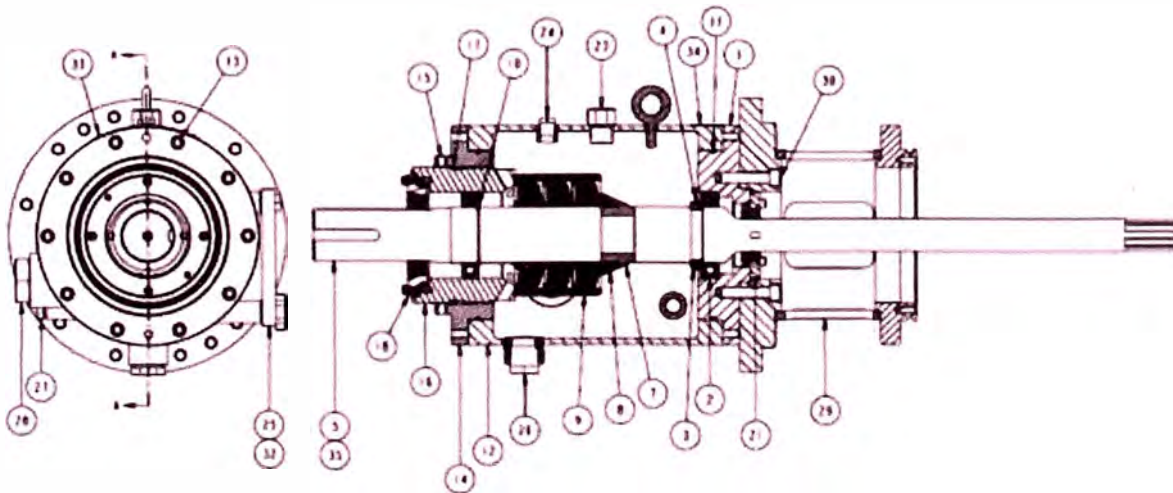


Fig. 2.15 Cámara de Empuje  
Fuente: Catálogo Schlumberger

## **CAPÍTULO 3**

### **DIAGNÓSTICO INICIAL DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN**

#### **3.1 Identificación de deficiencias en programa de mantenimiento de equipos**

##### **3.1.1 Sello mecánico entre cámara de empuje y bomba hps**

Se efectuó seguimiento a las fallas repetitivas que originan parada de producción, siendo las fugas por fallas en los sellos mecánicos de la bomba HPS, uno de los puntos que se encontró como oportunidad de mejora. Se verificó que los materiales empleados para las reparaciones (o-rings, resortes, prisioneros, empaquetaduras, clips de montaje), podrían mejorarse y alargar la vida de los sellos. De igual forma también se identificó que los procedimientos de trabajo en las reparaciones de los sellos podrían mejorarse para lograr mejor calidad y reducción de tiempos.

##### **3.1.2 Sello mecánico de bomba Booster**

En el caso de los sellos mecánicos de la bomba Booster, en adición a las observaciones indicadas en el punto 3.1.1, también se observó que las fallas son más frecuentes y severas porque se ven afectados por otros

elementos como por ejemplo fallas en la válvula check de la línea de descarga y el golpe de ariete por parada imprevista del sistema cuando falla el suministro de energía eléctrica. La identificación de las observaciones indicadas ubica a los sellos mecánicos de la bomba Booster como uno de los puntos para evaluación y planteamientos de mejora.

### **3.1.3 Variador de frecuencia de velocidad MVD, del motor eléctrico de la bomba HPS**

El MVD del motor eléctrico de la bomba HPS, se trata de un equipo muy importante y costoso el que debe ser controlado y mantenido cuidadosamente. El mantenimiento debe realizarse en las fechas programadas, sin embargo se encontró que las paradas por mantenimientos eran más frecuentes de lo esperado. Se detectó que los procedimientos se podrían mejorar efectuando algunos ajustes para reducir los tiempos de ejecución de los mantenimientos, así como alargando los tiempos entre mantenimientos.

### **3.1.4 Variador de frecuencia de velocidad VSD, del motor eléctrico de la bomba Booster**

De igual forma que en el caso anterior, el VSD del motor eléctrico de la bomba Booster, también mereció seleccionarlo para aplicar modificaciones en los procedimientos empleados en los trabajos de mantenimiento preventivo, con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución de los trabajos de mantenimientos y de alargar los tiempos entre mantenimientos.

### **3.1.5 Alineamiento de conjunto motor – Bomba Booster**

En el caso de los trabajos frecuentes que originaban parada de reinyección de agua y por consecuencia, parada de producción de petróleo, se encontró que los trabajos de realineamiento de la bomba Booster, se efectuaban en periodos medianamente aceptables, pero su ejecución empleaba un tiempo demasiado largo. Esto también se consideró para el análisis y hallar oportunidad de mejora y con ello incrementar la producción de petróleo.

### **3.1.6 Alineamiento de conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS**

Tomando como referencia el punto 3.1.5, se aplicó análisis y conclusiones similares que determinaron que a este punto pueden aplicarse mejoras similares.

### **3.1.7 Bomba de inyección de productos químicos**

La dosificación de productos químicos en el tratamiento del agua salada se trata de una actividad muy importante para lograr que el agua este dentro de las especificaciones para ser reinyectada y también para reducir las incrustaciones en el interior de las tuberías. Por todo ello se considera a la bomba de inyección de productos químicos como un elemento crítico a ser incluida para estudio y proponer mejoras en su funcionamiento.

### **3.1.8 Sistema de lubricación a la cámara de empuje de la bomba HPS**

La cámara de empuje de la bomba HPS, sirve para proteger las etapas de la bomba y los sellos mecánicos del alto empuje axial que producen al bombear el producto (agua salada), y cuando se producen paradas imprevistas por corte del fluido eléctrico, es la cámara encargada de disminuir el efecto del golpe de ariete. Por esta razón se determinó que debe incluirse en la evaluación para encontrar oportunidades de mejora.

## **3.2 Identificación de deficiencias en instalaciones**

### **3.2.1 Filtro de bomba Booster**

Se encontró que el filtro de la bomba Booster se obstruía frecuentemente y cada intervención demoraba un tiempo muy grande, ocasionando los mayores tiempos de paradas de reinyección y por ende la más grande falla que originaba producción diferida. Se puso especial interés en este punto y se identificó como el principal problema a tener en cuenta para el planteamiento de mejoras.



Fig. 3.1 Canastilla obstruida

Fuente: Foto de archivo



Fig. 3.2 Canastilla obstruida

Fuente: Foto de archivo



### 3.2.2 Tubería de alimentación de agua salada

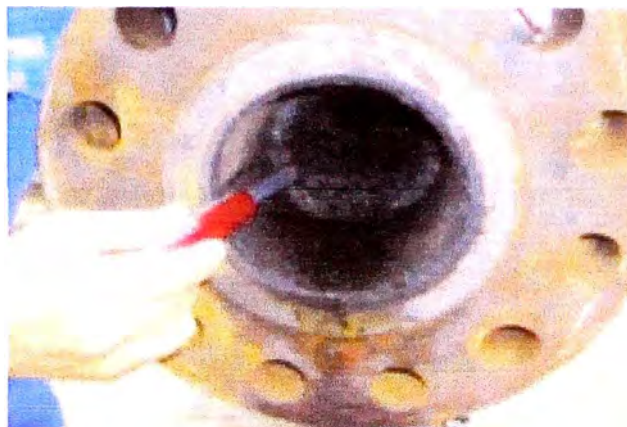
Se encontró que las tuberías también se obstruían con el tiempo. Al observar esta falla se observó que, si bien el periodo de obstrucción era largo (aproximadamente cada 6 meses), la intervención para efectuar su limpieza demandaba de varios días, ocasionando una interrupción muy larga en la reinyección de agua y a la vez una producción diferida de petróleo bastante grande. Esto produjo que sea analizado con detenimiento y seleccionado para el inicio de los planes de mejora del sistema de reinyección de agua salada, conjuntamente con el filtro.



a



b



C

Fig. 3.3 Tubería obstruida  
Fuente: Foto de archivo



Fig. 3.4 Tubería obstruida  
Fuente: Foto de archivo

### 3.3 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo ocasionadas por los equipos

Para efectuar los cálculos de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo, se preparó la tabla 3.1, que se describe a continuación.

Tabla 3.1 Datos de producción del pozo VICH 07

<b>POZO</b>	<b>BFPD</b>	<b>% WC</b>	<b>BWPD</b>	<b>BOPD</b>	<b>API</b>
VICH 07	16 783	97.9	16 431	352	22.3

Fuente: Datos de campo

BFPD: Barriles de producción diaria de fluido total

BWPD: Barriles de producción diaria de agua

BOPD: Barriles de producción diaria de aceite (petróleo crudo)

% WC: Porcentaje de agua (corte de agua)

API: Grados API (calidad del petróleo)

Considerando el costo promedio del barril de US\$ 100.00, en el periodo del análisis y aplicación de mejoras (del 2007 al 2010), y empleando los datos de la tabla 3.1, se tiene lo siguiente:

$352 / 24 \times 100 = \text{US\$ } 1\,467$  de pérdida por cada hora de interrupción en la producción de petróleo.

### **3.3.1 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Sello Mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS**

El promedio de la frecuencia de falla del sello mecánico en la cámara de empuje es de cada 3 meses y en cada cambio se emplea 8 horas para desmontaje / montaje del sello, realineamiento del equipo y volver a dar el reinicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el sello mecánico es:

$$4 \text{ fallas /año} \times 8 \text{ h /falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$ 46\,944 / \text{año}.$$

### **3.3.2 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en los Sellos Mecánicos (02 EA) de la bomba Booster**

El promedio de la frecuencia de falla de los sellos mecánicos de la bomba Booster es de cada 2 meses y en cada cambio se emplea 10 horas para desmontaje / reparación / montaje del sello, realineamiento del equipo y volver a dar el reinicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el sello mecánico es:

$$6 \text{ fallas /año} \times 10 \text{ h /falla} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 88\,020 / \text{año}.$$

### **3.3.3 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Variador de Frecuencia de Velocidad MVD, del motor eléctrico de la bomba HPS**

Se verificó que las fallas frecuentes y repetitivas en el MVD, se presentó en promedio cada 3 meses por obstrucción de los ductos de ventilación siendo el tiempo necesario para efectuar el servicio de mantenimiento de los

ductos de ventilación y limpieza de elementos electrónicos de 3 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el MVD es:

$4 \text{ fallas / año} \times 3 \text{ h / falla} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 17\,604 / \text{año}.$

### **3.3.4 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Variador de Frecuencia de Velocidad VSD, del motor eléctrico de la bomba Booster**

Se verificó que las fallas frecuentes y repetitivas en el VSD, al igual que el punto anterior, se presentó en promedio cada 3 meses por obstrucción de los ductos de ventilación siendo el tiempo necesario para efectuar el servicio de mantenimiento de los ductos de ventilación y limpieza de elementos electrónicos de 2,5 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el VSD es:

$4 \text{ fallas / año} \times 2,5 \text{ h / falla} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 14\,670 / \text{año}$

### **3.3.5 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Alineamiento del conjunto Motor – Bomba Booster**

El monitoreo predictivo de vibraciones demandó de realineamiento entre el motor y la bomba booster en un promedio de cada 4 meses, siendo el tiempo empleado en los trabajos de realineamiento de 10 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el realineamiento entre motor y bomba Booster es:

$3 \text{ veces / año} \times 10 \text{ h / vez} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 44\,010 / \text{año}$

### **3.3.6 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Alineamiento del conjunto Motor – Cámara de Empuje - Bomba HPS**

El monitoreo predictivo de vibraciones demandó de realineamiento del conjunto Motor – Cámara de Empuje - y la bomba HPS en un promedio de cada 6 meses, siendo el tiempo empleado en los trabajos de realineamiento de 12 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el realineamiento entre Motor – Cámara de Empuje – Bomba HPS es:

$$2 \text{ veces / año} \times 12 \text{ h / vez} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 35\,208 / \text{año}$$

### **3.3.7 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en la bomba de inyección de productos químicos**

La bomba de pistones utilizada en la inyección de productos químicos presentaron una frecuencia de falla cada 3 meses, siendo el tiempo empleado en los trabajos de reparación de 02 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por falla en la bomba de inyección de productos químicos es:

$$4 \text{ veces / año} \times 2 \text{ h / vez} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 11\,736 / \text{año}$$

### **3.3.8 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por fallas en el Sistema de lubricación de la Cámara de Empuje de la bomba HPS**

El Sistema de lubricación de la cámara de empuje de la bomba HPS, presentó una frecuencia de falla cada 6 meses y el tiempo promedio

empleado en reparar fue de 3 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica por falla en el sistema de lubricación de la Cámara de empuje es:

$$2 \text{ veces / año} \times 3 \text{ h / vez} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 8\,802 / \text{año}.$$

### **3.4 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo ocasionado por las instalaciones**

Cada vez que por alguna razón se paraliza la reinyección de agua salada, se tiene que interrumpir la producción de petróleo. La interrupción de la producción de petróleo ocasiona una pérdida de U\$ 1 467 / h. (Ver Tabla. 3.1).

#### **3.4.1 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo ocasionado por obstrucción del filtro de la bomba Booster:**

El filtro se obstruye 3 veces al día y en cada obstrucción se emplea 2 horas para efectuar el desmontaje del filtro, realizar la limpieza y volver a montar para dar reinicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por el filtro es:

$$3 \text{ obstrucciones/día} \times 2 \text{ h /obstrucción} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 8\,802 / \text{día}, \text{ esto significa una pérdida económica de } \$ 264\,060 / \text{mes} \text{ y de } \$ 3\,212.730 / \text{año}.$$

### **3.4.2 Cálculo de pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por obstrucción de la Tubería de alimentación de agua salada a la bomba Booster:**

Por incrustaciones en el interior de la tubería de alimentación, ocasiona la reducción del diámetro interior al punto que hace imposible continuar efectuando la reinyección de agua salada en las condiciones requeridas para lograr las presiones y el caudal necesario. La tubería requiere ser limpiada en su interior para retirarle las incrustaciones 2 veces por año y cada vez que se interviene se emplean 15 días en los trabajos de desmontaje, corte, limpieza, preparación de superficie a soldar (biselado), soldeo y montaje, para dar reinicio a la operación de reinyección de agua.

La pérdida económica ocasionada por la tubería es:

$$2 \text{ obstrucciones/año} \times 15 \text{ días /obstrucción} \times 24 \text{ h / día} \times \$ 1\,467 \text{ / h.} = \$ 1\,056\,240 \text{ / año}$$





Fig. 3.5 Tubería con tramos embridados

Fuente: Foto de archivo

### 3.5 Indicadores de funcionamiento y rendimiento

En el presente trabajo se ha tenido en cuenta el indicador de Disponibilidad del Sistema de Reinyección, considerando los tiempos empleados para remediar o solucionar cada uno de los diferentes tipos de problemas que se presentaron.

Tenemos que:

- MTTF = Tiempo medio para fallar
- MTTR = Tiempo medio para reparar
- MTBF = Tiempo medio entre fallas

- $D = \text{Disponibilidad}$
- $MTBF = MTTF + MTTR$
- $D = MTTF / MTBF = MTTF / (MTTF + MTTR)$

### 3.6 Potencial Humano

El personal que estuvo a cargo del montaje y puesta en servicio del Sistema de Reinyección en VICH-07, carecía de experiencia suficiente para llevar a cabo el trabajo encomendado, sin contratiempos. Esto se debió a que anteriormente el agua salada no se reinyectaba al subsuelo, sino que sólo se le aplicaba tratamiento con productos químicos para cumplir con las exigencias gubernamentales de tolerancias permisibles de OIW y TSS en su contenido, antes de ser vertidos al medio ambiente.

Los técnicos a cargo del desarrollo y poner en marcha el proyecto, primero tuvieron que viajar para visitar otras instalaciones similares que ya se encontraban funcionando fuera del Perú, y de esa manera aprender el principio básico de funcionamiento para replicar un sistema similar en los campos petroleros de la selva del Perú. Los errores cometidos por esa falta de experiencia, salieron a la luz cuando las diversas fallas repetitivas, que se presentaron en los equipos y en las instalaciones, causaron cuantiosas pérdidas económicas por la baja disponibilidad para la producción de petróleo.

De igual forma, los operadores a cargo de la operación del Sistema de Reinyección en VICH – 07, no contaban con experiencia para detectar oportunamente las fallas y al principio tampoco mostraron interés en

colaborar en las soluciones empleadas en dada uno de los problemas que se presentaban. Esta situación se revirtió al efectuar reuniones de coordinación con las jefaturas operativas, charlas al personal, que llevaron a que los operadores comprendieran que era mucho mejor el trabajo bajo el enfoque de Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Al evaluar los resultados de las diversas reuniones, de coordinación, para revisar y repasar las lecciones aprendidas, tanto en el aspecto administrativo como en el aspecto técnico, se evidenció que tanto técnicos como operadores, salieron fortalecidos y con nuevos conocimientos que les permitieron afrontar y resolver las situaciones con mayor solvencia en las operaciones de reinyección de agua salada.

## **CAPÍTULO 4**

### **MEJORAS Y SU IMPLEMENTACIÓN**

#### **4.1 Mejoras en programas de mantenimiento**

##### **4.1.1 Mejoras en el mantenimiento del Sello Mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS**

Mediante un Acuerdo Marco, con una compañía especializada en sellos mecánicos, se efectuó un convenio para que efectúen el suministro y las reparaciones de todos los sellos empleados en el campo. Al centralizar el negocio con un solo proveedor, permitió a este último reducir costos por el mayor volumen de atención, así como mejorar la calidad de los Kits de reparación (o-rings, resortes, empaques, etc.), permitiéndole a la vez asegurar mayor durabilidad de los sellos, mejorando la vida útil, que se vio reflejada en que las fallas ya no se presentaron cada 3 meses, sino cada 6 meses.

Así mismo, esta empresa efectuó cursos de capacitación en técnicas de montaje y desmontaje, conservación y cambio de sellos por fallas. En relación con la capacitación, los técnicos desarrollaron técnicas de trabajo, logrando obtener mejores resultados en menor tiempo. El nuevo tiempo requerido fue de 6 horas para desmontaje / montaje del sello, realineamiento del equipo y volver a dar el reinicio a la operación de reinyección de agua.

Con la puesta en práctica de las mejoras, las pérdidas se redujeron a:

$$2 \text{ fallas / año} \times 6 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$ 17\,604$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 46\,944 - 17\,604 = \$ 29\,340 / \text{año}$$

#### **4.1.2 Mejoras en el mantenimiento del sello mecánico de Bomba Booster**

Para el presente caso, se aplicó el mismo convenio de Acuerdo Marco y capacitación de personal descritos en 4.1.1. Adicionalmente se preparó el programa de mantenimiento y monitoreo de la válvula check de la descarga para evitar que cuando se corte el fluido eléctrico, el golpe de ariete impacte directamente en la bomba dañando los sellos.

Con la aplicación de las mejoras se consiguió alargar el tiempo de falla de los sellos hasta 4 meses, así mismo se redujo el tiempo de intervención en cada reparación de 10 horas a 8 horas para desmontaje / reparación / montaje del sello, realineamiento del equipo y volver a dar el reinicio a la operación de reinyección de agua

Con la puesta en práctica de las mejoras, las pérdidas se redujeron a:

$$3 \text{ fallas / año} \times 8 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$ 35\,208 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 88\,020 - 35\,208 = \$ 52\,812 / \text{año}$$

#### **4.1.3 Mejoras en el mantenimiento del variador de frecuencia MVD del motor eléctrico de la bomba HPS**

Se observó que los ductos de ventilación del MVD tenían rejillas de protección que se obstruían muy frecuentemente con la presencia de insectos y con partículas pequeñas en el aire, producto de la abundante vegetación existente. Al impedir el pase de aire fresco se dañan los componentes electrónicos que requieren disipar calor, originándose la falla. Se efectuó la construcción de rejillas con marco empemado y sujetado con tuercas tipo mariposa. De esta manera se consiguió cambiar rápidamente las rejillas, cuando se obstruían, sin interrupción de la operación. El tiempo entre fallas y para los mantenimientos se incrementó a 4 meses.

Debido a que cuando se intervenía el MVD, ya no se requería limpiar las rejillas, se redujo el tiempo de intervención. El personal sólo se dedica al servicio de mantenimiento de ductos y de elementos electrónicos, empleando un promedio de 2 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

Con la puesta en práctica de la mejora, las pérdidas se redujeron a:

$$3 \text{ fallas / año} \times 2 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$8\,802 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 17\,604 - 8\,802 = \$8\,802 / \text{año}$$



Fig. 4.1 Rejillas obstruidas

Fuente: Fotos del archivo personal de JDL

#### **4.1.4 Mejoras en el mantenimiento del variador de frecuencia VSD del motor eléctrico de la bomba Booster**

De igual manera que en 4.1.3, se aplicó la construcción y montaje de rejillas con marco empernado y sujetado con tuercas tipo mariposa para permitir desmontaje y montaje rápido, sin necesidad de parar la operación. Con la mejora implementada se incrementó el tiempo entre fallas a 4 meses y se redujo el tiempo de intervención a 2 horas para efectuar el servicio de mantenimiento de ductos y de elementos electrónicos, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua salada.

Con la puesta en práctica de la mejora, las pérdidas se redujeron a:

$$3 \text{ fallas / año} \times 2 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$8\,802 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 14\,670 - 8\,802 = \$5\,868 / \text{año}$$



Fig. 4.2 Rejillas obstruidas

Fuente: Fotos del archivo personal de JDL

#### **4.1.5 Mejoras en el alineamiento del conjunto motor - Bomba Booster**

Se observó que las instalaciones y el procedimiento empleado para el alineamiento adolecían de algunas facilidades para realizar el trabajo de manera más eficiente y en menor tiempo. Se plantearon las siguientes mejoras:

- Instalación de dispositivos de regulación y sujeción del skid, de manera tal que facilite el desplazamiento lateral del equipo en ambos sentidos para lograr el alineamiento correcto.
- El dispositivo indicado en el punto anterior, consistió en la colocación de platinas soldadas a la base con tuercas y pernos reguladores que actuaban en el skid de la bomba. Con esto se logró facilitar el alineamiento. Al terminar el alineamiento, se



ajustaban con contratuerca los pernos que servían de tope para inmovilizar e impedir un nuevo desalineamiento.

- Para los trabajos propios de alineamiento, se solicitó al contratista a cargo de los mantenimientos para que incorpore en los equipos de trabajo un alineador portátil láser, que brindaba mejor precisión y rapidez en el trabajo de alineamiento de bombas.

Con la aplicación de las mejoras se consiguió alargar el tiempo para re alineamientos a 1 vez por año y el tiempo para efectuar el re alineamiento se redujo de 10 a 6 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

Con la puesta en práctica de las mejoras, las pérdidas se redujeron a:

$$1 \text{ fallas / año} \times 6 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$ 8\,802 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 44\,010 - 8\,802 = \$ 35\,208 / \text{año}$$

#### **4.1.6 Mejoras en el alineamiento del conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS**

Para el presente caso se aplicó mejoras similares a las empleadas en 4.1.5. Se logró incrementar el tiempo entre cada realineamiento a 8 meses y se redujo el tiempo promedio empleado para realizar el re alineamiento de 12 a 7 horas, antes de volver a dar inicio a la operación de reinyección de agua.

Con la puesta en práctica de las mejoras, las pérdidas se redujeron a:

$$1.5 \text{ fallas / año} \times 7 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$ 15\,404 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 35\,208 - 15\,404 = \$ 19\,804 / \text{año}$$

#### **4.1.7 Mejoras en la bomba de inyección de productos químicos**

Se observó que las instalaciones y el procedimiento de mantenimiento empleado en la bomba de inyección de química adolecían de algunas facilidades para realizar el trabajo de manera más eficiente y en menor tiempo. Se plantearon las siguientes mejoras:

- Los accesorios empleados (niples, codos, tee, conectores, etc.), eran de material acero al carbono, los mismos que sufrían corrosión y fallaban frecuentemente.
- Se recomendó el cambio de los accesorios por otros de material acero inoxidable SS316.
- Se recomendó el cambio de los émbolos de la bomba por otros de mejor calidad, más duraderos.
- Se coordinó charlas de capacitación al personal de mantenimiento para mejorar su conocimiento en el tema de los mantenimientos de conservación del equipo.

Con la aplicación de las mejoras se logró incrementar el tiempo entre fallas de la bomba a 6 meses y se mejoró el tiempo de intervención reduciendo a sólo 1 hora por reparar cada falla.

Con la puesta en práctica de las mejoras, las pérdidas se redujeron a:

$$2 \text{ fallas / año} \times 1 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$2\,934 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 11\,736 - 2\,934 = \$8\,802 / \text{año}$$

#### **4.1.8 Mejoras en el Sistema de lubricación de la Cámara de Empuje de la bomba HPS**

Se observó que el Sistema de lubricación de la cámara de empuje de la bomba HPS, carecía de programa de mantenimiento preventivo y el personal no le prestaba atención por considerarlo sin mayor importancia. Se plantearon las siguientes mejoras:

- Implementar programa de inspección diaria.
- Llevar registro del estado del sistema de lubricación precisando en el formato establecido los niveles de aceite, y las observaciones encontradas
- Efectuar Mantenimiento semanal del radiador de enfriamiento del aceite.
- Se coordinó charlas de capacitación al personal de mantenimiento para mejorar su conocimiento en el tema de los mantenimientos de conservación del equipo

Con la aplicación de las mejoras se logró incrementar el tiempo entre fallas de la bomba a 1 vez por año y se mejoró el tiempo de intervención reduciendo a sólo 1 hora por reparar cada falla

Con la puesta en práctica de las mejoras, las pérdidas se redujeron a:

$$1 \text{ fallas / año} \times 1 \text{ h / falla} \times \$1\,467 / \text{h} = \$ 1\,467 / \text{año}$$

$$\text{El ahorro logrado fue de } 8\,802 - 1\,467 = \$ 7\,335 / \text{año}$$

## 4.2 Mejoras en instalaciones

### 4.2.1 Mejoras en filtros

Según los resultados de Pérdidas Económicas mostrados en el numeral 3.4.1, se tiene que los filtros generan las más grandes pérdidas encontradas en el diagnóstico llevado a cabo. Por tal motivo se tomó la decisión de enfocar el análisis y la búsqueda de tiempos involucrados para efectuar modificaciones que reduzcan significativamente los tiempos en las paradas por limpieza de filtros. A continuación se detallan los pasos seguidos hasta lograr el objetivo planteado:

**Paso 1.-** En una primera mejora se preparó canastillas de reemplazo para reducir el tiempo de limpieza. Con las canastillas de reemplazo rápido, el trabajo sólo consistía en desarmar el filtro, sacar la canastilla que se encontraba completamente obstruida, limpiar el cuerpo del filtro, montar la canastilla de reemplazo limpia, armar el filtro y poner en servicio el sistema de reinyección. Luego, con el sistema ya en servicio, se procedía a efectuar la limpieza exhaustiva de la canastilla obstruida saliente del filtro, quedando lista para ser utilizado como reemplazo en un nuevo ciclo de obstrucción del filtro.

Con la primera mejora puesta en ejecución, se redujo el tiempo para efectuar la limpieza del filtro a sólo 1 ½ hora, teniendo que la pérdida económica, luego de efectuar la primera mejora se redujo como sigue:

$3 \text{ obstrucciones/día} \times 1,5 \text{ h /obstrucción} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 6\,601 / \text{día}$ , esto significa un nuevo monto de pérdida económica de  $\$ 198\,030 / \text{mes}$  y de  $\$ 2\,409,365 / \text{año}$ .

El ahorro logrado fue de  $3\,212.730 - 2\,409,365 = \$ 803\,365 / \text{año}$ .

**Paso 2.-** Motivados por el gran ahorro logrado y luego de verificar que la pérdida económica era aún bastante significativa, se continuó buscando alternativas para seguir mejorando aún más en la reducción de pérdidas por este concepto. Se efectuaron reuniones con todo el personal con el objetivo de recibir nuevas propuestas de mejora; luego del análisis, exposición de tormenta de ideas y debate se obtuvieron una serie de buenas ideas, las que se acordó proponer a la Gerencia Operativa para que se apruebe y sean llevadas a la práctica las siguientes:

- Aplicación de productos químicos inhibidor de incrustaciones (scale inhibitor) así como inhibidor de corrosión, con el objetivo de disminuir los sólidos en suspensión y la obstrucción de los filtros.
- Instalación de sistema de manómetros para medir el diferencial de presión entre el ingreso y la salida al filtro. De esta manera tener controlado la caída de presión y estimar el momento en que se debe intervenir para efectuar la limpieza del filtro, evitando así dañar la bomba booster por el fenómeno de cavitación.
- Se propuso también la aplicación de TPM (Mantenimiento Productivo Total), con el involucramiento del personal operativo en las inspecciones y limpieza externa diaria de los equipos, así como su participación ayudando al personal de mantenimiento en los trabajos de mantenimiento por limpieza del filtro, de manera tal que al contar el personal de mantenimiento con más apoyo, se pudieran efectuar los trabajos de limpieza del filtro en menor tiempo.
- Como prevención contra accidentes, en el análisis de riesgo de las tareas seguras (ASL), se encontró que, por la presión ejercida para efectuar las tareas de limpieza en menor tiempo, se podría incurrir en accidentes en la etapa del retiro de la tapa del filtro cuyo peso bordeaba los 90 kg. Para

mitigar y/o eliminar el riesgo de accidente en esta tarea, se propuso también la confección y montaje de un brazo giratorio con dispositivo de sujeción e izaje de la tapa, con lo que se evitaba que el retiro y su reinstalación sea efectuada a pulso. Con esto también se consiguió efectuar la tarea en un menor tiempo.

Luego que se puso en práctica los puntos propuestos en la segunda mejora, se logró reducir las obstrucciones de 3 a 2,5 veces por día, así mismo, se redujo el tiempo para efectuar la limpieza del filtro a sólo 1 ¼ hora (desmontaje, retiro de canastilla, limpieza del cuerpo, colocación de canastilla limpia y montaje), obteniendo que la pérdida económica, luego de efectuar la segunda mejora también se redujera, según se describe:

$2,5 \text{ obstrucciones/día} \times 1,25 \text{ h /obstrucción} \times \$ 1\,467 / \text{h} = \$ 4\,585 / \text{día}$ , esto significó un nuevo monto de pérdida económica de  $\$ 137\,550 / \text{mes}$  y de  $\$ 1\,673,525 / \text{año}$ .

El nuevo ahorro logrado con la segunda mejora fue  $2\,409,365 - 1\,673,525 = \$ 735\,840 / \text{año}$

El ahorro total logrado con las dos mejoras ( $803\,365 + 735\,840 = \$ 1\,539,205 / \text{año}$ ).

**Paso 3.-** Los logros obtenidos en los pasos 1 y 2, así como la observancia que la pérdida económica era todavía muy grande, convertía al problema del filtro en el punto que merecía el esfuerzo para continuar analizando el problema a fin de seguir encontrando oportunidades de mejora y reducción de pérdidas económica.

De igual forma que la vez anterior se volvió a convocar al personal involucrado para efectuar una tormenta de ideas, de donde salió por consenso el planteamiento de instalar un filtro stand by en la línea, en posición paralelo al filtro existente, de tal forma que con juego de válvulas se pudiese cambiar el pase del flujo

por uno u otro filtro sin necesidad de parar el sistema de reinyección, cada vez que se obstruía y requería efectuar limpieza. Se realizaron los cálculos económicos para efectuar este trabajo y se presentó para aprobación de la Gerencia.

Cuadro 4.1 Presupuesto de montaje de filtro stand by en bomba Booster

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
Materiales	110 949,60
Mano de Obra y alquiler de equipos	46 240
Pérdida de producción	211 200
<b>TOTAL</b>	<b>368 389,60</b>

Fuente: Elaboración propia.

La Gerencia vio la conveniencia de realizar el cambio en las instalaciones, estuvo conforme con el presupuesto elaborado y se dispuso la ejecución de las mejoras propuestas. Luego de ejecutado y puesto en servicio, se llegó a eliminar las pérdidas económicas ocasionadas por el filtro



Fig. 4.3 Sólidos de obstrucción

Fuente: Fotos de archivo



Fig. 4.4 Rejillas nuevas

Fuente: Fotos de archivo



Fig. 4.5 Rejilla nueva  
Fuente: Fotos de archivo



Fig. 4.6 Brazo giratorio para levantar la tapa de filtro  
Fuente: Fotos de archivo de JDL



#### **4.2.2 Mejoras en tuberías de alimentación de agua salada**

Al igual que el caso del filtro, según los resultados de Pérdidas Económicas mostrados en el numeral 3.4.2, se tiene que las tuberías están ubicadas en el segundo lugar como causantes de grandes pérdidas económicas, por lo que de igual forma que el filtro se puso el mismo interés y dedicación especial, planteándose enfocar el análisis y la búsqueda de tiempos involucrados para efectuar modificaciones que reduzcan significativamente los tiempos en las paradas por limpieza de las tuberías. A continuación se detallan los pasos seguidos hasta lograr el objetivo planteado:

**Paso 1.-** Se observó que si bien la tubería se obstruía luego de un tiempo más largo, respecto de los filtros, las incrustaciones se producían en áreas mucho mayores, así como que el grado de dificultad para ejecutar el trabajo de limpieza era mucho mayor, haciendo que cada vez que se paraba para efectuar la limpieza del interior de la tubería el tiempo empleado desde su parada hasta terminar los trabajos y volver a poner en servicio la reinyección también era bastante grande. En una primera instancia se propuso cortar la tubería en tramos más cortos y la colocación de bridas para su unión en lugar de soldarlos, en los tramos difíciles de trabajar.

Con la propuesta se lograría ahorrar los tiempos en los tramos embridados, para el desmontaje y para volver a ensamblarlos, (retiro de espárragos de sujeción, limpieza interior de las tuberías, cambio de empaquetaduras, colocación de espárragos y torqueo de tuercas). También, al tener tramos más cortos facilitaría la limpieza del interior de las tuberías.

En el aspecto de seguridad, se lograría trabajar tubos menos pesados y más fáciles de maniobrar. Adicionalmente se propuso la preparación de baquetas

metálicas y la aplicación de productos químicos para facilitar la limpieza y retiro de las partículas sólidas incrustadas en el interior de las tuberías.

Luego de puesta en ejecución la primera mejora, se redujo el tiempo para efectuar la limpieza de las tuberías a sólo 12 días, teniendo que la pérdida económica, luego de efectuar la primera mejora también se redujo como sigue:

$2 \text{ obstrucciones/año} \times 12 \text{ días /obstrucción} \times 24 \text{ h / día} \times \$ 1\,467 / \text{h.} = \$ 844\,992 / \text{año}$

El ahorro logrado fue de  $1\,056\,249 - 844\,992 = \$ 211\,257 / \text{año}$

**Paso 2.-** Al tener que la pérdida económica por interrupción de producción de petróleo por obstrucción de la tubería de alimentación de agua salada era aún muy grande, se continuó con la práctica de convocar a todo el personal involucrado, para analizar una vez más el problema. Luego del debate, se plantearon una serie de buenas ideas, entre las cuales se acordó proponer para que se apruebe llevar a la práctica las siguientes:

- Se concluyó que una de las maneras de reducir la presencia de sólidos en el interior de las tuberías era colocando filtros adicionales para retener estos sólidos.
- También se determinó que debía de instalarse dos filtros en lugar de uno, para tener filtro stand by que permitiera la continuación de la operación mientras se saca de servicio uno de los filtro para efectuar su limpieza, de manera alternada cuando se ensuciaran cada uno de ellos.
- Se acordó proponer la aplicación de un procedimiento de parada, el mismo que incluía que cuando por alguna razón se tuviera necesidad de parar la bomba HPS y con ello la reinyección de agua salada, para evitar que los sólidos en suspensión precipiten y se depositen en la superficie inferior de la

tubería, había que instalar una red de agua fresca para efectuar la limpieza (flushing), de todo el tramo tuberías y bomba HPS, y el empaquetado de este tramo con agua fresca. Esto evitaría el depósito concentrado de sólidos y agarrotamiento de la bomba HPS, en el momento del nuevo arranque.

- También se propuso la implementación de cuadrillas de trabajo adicionales para que cuando se tuviera que intervenir las tuberías para efectuar su limpieza, los trabajos se realizaran en menor tiempo.

Se efectuó la preparación del presupuesto que significaba la implementación de las mejoras señaladas, y se propuso la instalación de los dos filtros adicionales y las otras recomendaciones a la Gerencia. La Gerencia verificó el costo beneficio y decidió aprobar la ejecución del proyecto de mejora indicado.

Luego de puesta en ejecución las mejoras, se redujo la frecuencia de intervenciones de tubería por obstrucción con incrustaciones en su interior a 1,5 obstrucciones por año y también se redujo el tiempo para efectuar la limpieza de las tuberías a sólo 10 días, obteniendo que la pérdida económica, luego de efectuar esta segunda mejora también se redujo como sigue:

$1,5 \text{ obstrucciones /año} \times 10 \text{ días /obstrucción} \times 24 \text{ h / día} \times \$ 1\,467 / \text{h.} = \$ 528\,120 / \text{año}$ )

El ahorro logrado fue de  $844\,992 - 528\,120 = \$ 316\,872 / \text{año}$

El ahorro total obtenido:  $211\,257 + 316\,872 = \$ 528\,129 / \text{año}$

**Paso 3.-** Una vez más, se convocó a todo el personal relacionado para nuevos aportes de ideas, de las cuales se desprenden las siguientes acciones:

- El hecho que persistía una pérdida económica considerable por obstrucción de tuberías y el haber constatado la obtención de los grandes ahorros,

logrados con las modificaciones realizadas, fue determinante para consensuar que se necesitaba seguir efectuando inversiones con modificaciones al diseño original, para obtener finalmente la eliminación de las pérdidas por obstrucciones de tuberías.

- Es así que se decide recomendar la fabricación de una tubería paralela (stand by), que permitiera la continuidad de la operación por esta nueva línea, cuando la anterior línea sufriera obstrucción por las incrustaciones interiores y hubiera necesidad de sacarla de servicio para su limpieza interior.

Se preparó el presupuesto de lo que significaría la modificación y se presentó para aprobación de la Gerencia, quien en esta oportunidad volvió a aprobar la ejecución de la mejora propuesta. Finalmente con la ejecución de la línea stand by y las modificaciones de los pasos anteriores, se elimina por completo las pérdidas por obstrucción de tubería.

Cuadro 4.2 Presupuesto para instalación de filtro y tubería en bomba HPS

<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Materiales	88 225
Mano de Obra y alquiler de equipos	79 660
Pérdida de producción	352 000
<b>TOTAL</b>	<b>519 885</b>

Fuente: Elaboración propia

DIAGRAMA DE FLUJO INTERMEDIO SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN

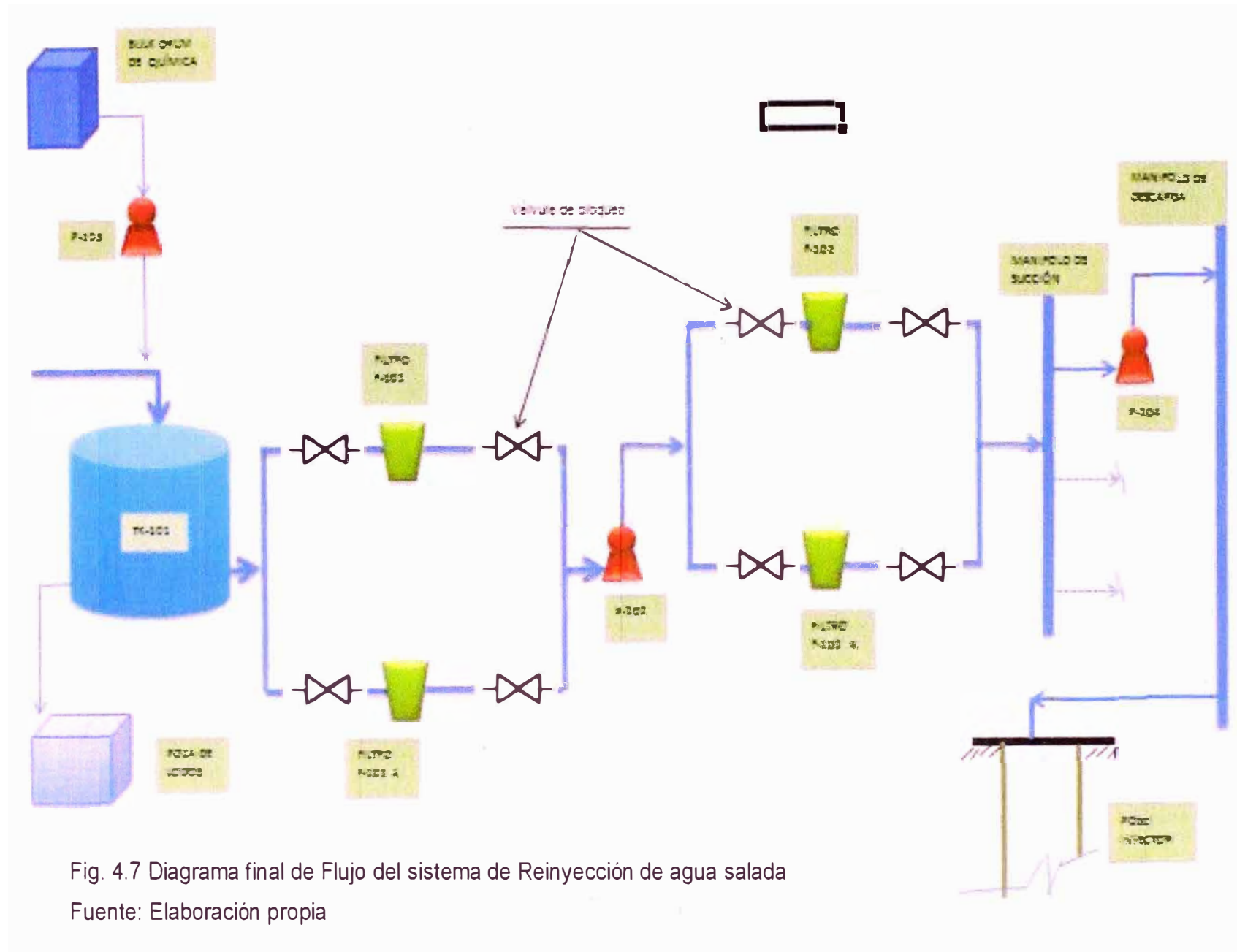


Fig. 4.7 Diagrama final de Flujo del sistema de Reinyección de agua salada

Fuente: Elaboración propia

## DIAGRAMA DE FLUJO FINAL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN

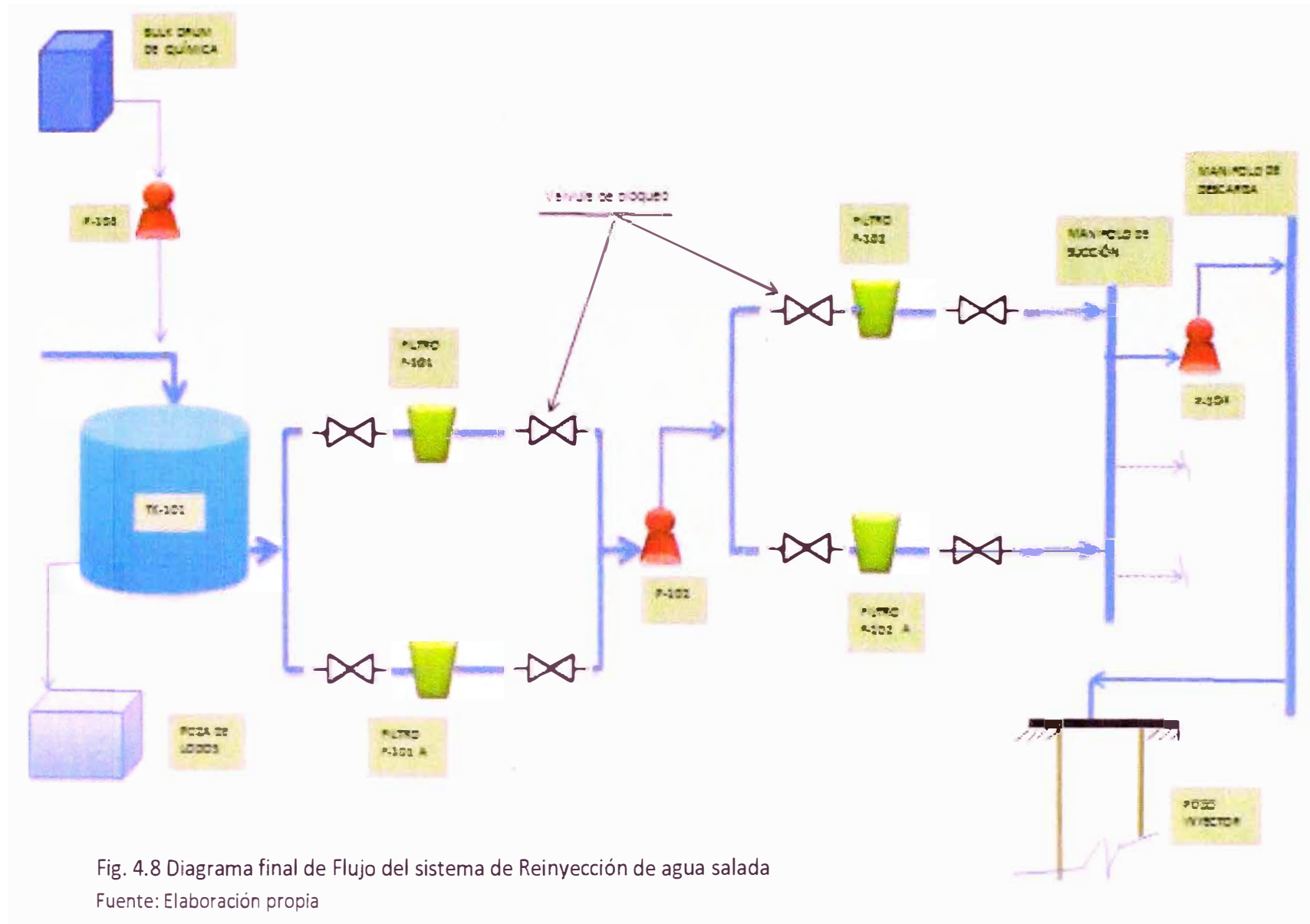


Fig. 4.8 Diagrama final de Flujo del sistema de Reinyección de agua salada  
Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Mejoras en el potencial humano

La Alta Gerencia tiene muy en claro el papel que juega el potencial humano dentro de la organización, en el logro de los objetivos que se han planteado. Aprueba la ejecución de todas las actividades que signifiquen el incremento de la eficacia y la eficiencia en las actividades que el personal realiza.

De esta manera, se han llevado a cabo:

Charlas motivacionales,

Capacitación en temas de Mantenimiento,

Uso de técnicas de trabajo en equipo. Trabajo colaborativo y trabajo corporativo.

Charlas técnicas sobre herramientas de la calidad

Pasantías en el exterior e interior del país

El material de este acápite obra en los archivos de la oficina de RR HH, en Iquitos.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presenta el diagnóstico realizado por el personal que labora en el sistema de reinyección de agua salada, sobre los componentes que conforman dicho sistema de reinyección

#### 5.1 Base de datos

Cuadro 5.1 Diagnóstico inicial

Ítem	Descripción	Pérdida económica (\$ / año)
1	Falla en el sello mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS	46 944
2	Falla en los sellos mecánicos de la bomba Booster	88 020
3	Falla en el variador de frecuencia (MVD) del motor eléctrico de la bomba HPS	17 604
4	Falla en el variador de frecuencia (VSD) del motor eléctrico de la bomba Booster	14 670
5	Falla de alineamiento del conjunto motor – bomba Booster	44 010
6	Falla de alineamiento del conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS	35 208
7	Falla de bomba de inyección de productos químicos	11 736
8	Falla en sistema de lubricación de la cámara de empuje de la bomba HPS	8 802
9	Falla por obstrucción de filtro de la bomba Booster	3 212 730
10	Falla por obstrucción de tubería de alimentación de agua salada	1 056 240
	<b>TOTAL</b>	<b>4 535 964</b>

Fuente: Elaboración propia



El siguiente cuadro muestra las diversas fallas ocasionadas por los componentes del sistema de reinyección de agua salada, que han sido detectadas por el personal que labora en este sistema. Se muestra en orden de prioridad, de acuerdo al impacto económico que produce

## 5.2 Cuadro de pérdida económica

Cuadro 5.2 Pérdida económica por orden de prioridad

<b>Descripción de la falla</b>	<b>Pérdida económica (\$ / año)</b>
Falla por obstrucción de filtro de la bomba Booster	3 212 730
Falla por obstrucción de tubería de alimentación de agua salada	1 056 240
Falla en los sellos mecánicos de la bomba Booster	88 020
Falla en el sello mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS	46 944
Falla de alineamiento del conjunto motor – bomba Booster	44 010
Falla de alineamiento del conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS	35 208
Falla en el variador de frecuencia (MVD) del motor eléctrico de la bomba HPS	17 604
Falla en el variador de frecuencia (VSD) del motor eléctrico de la bomba Booster	14 670
Falla de bomba de inyección de productos químicos	11 736
Falla en sistema de lubricación de la cámara de empuje de la bomba HPS	8 802
<b>TOTAL</b>	<b>4 535 964</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Cuadro de resultados de implementación de mejoras

Cuadro 5.3 Resultados después de implementar las mejoras

Item	Descripción	Pérdida económica (\$ / año)
1	Falla por obstrucción de filtro de la bomba Booster	0
2	Falla por obstrucción de tubería de alimentación de agua salada	0
3	Falla en los sellos mecánicos de la bomba Booster	35 208
4	Falla en el sello mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS	17 604
5	Falla de alineamiento del conjunto motor – bomba Booster	8 802
6	Falla de alineamiento del conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS	15 404
7	Falla en el variador de frecuencia (MVD) del motor eléctrico de la bomba HPS	8 802
8	Falla en el variador de frecuencia (VSD) del motor eléctrico de la bomba Booster	8 802
9	Falla de bomba de inyección de productos químicos	2 934
10	Falla en sistema de lubricación de la cámara de empuje de la bomba HPS	1 467
	<b>TOTAL</b>	<b>99 023</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 Cuadro de resultados de ahorros logrados luego de implementación de mejoras

Cuadro 5.4 Resultados de ahorros logrados después de implementar las mejoras

Ítem	Descripción	Ahorro logrado (\$ / año)
1	Falla por obstrucción de filtro de la bomba Booster	3 212 730
2	Falla por obstrucción de tubería de alimentación de agua salada	1 056 240
3	Falla en los sellos mecánicos de la bomba Booster	52 812
4	Falla en el sello mecánico entre la cámara de empuje y la bomba HPS	29 340
5	Falla de alineamiento del conjunto motor – bomba Booster	35 208
6	Falla de alineamiento del conjunto motor – cámara de empuje – bomba HPS	19 804
7	Falla en el variador de frecuencia (MVD) del motor eléctrico de la bomba HPS	8 802
8	Falla en el variador de frecuencia (VSD) del motor eléctrico de la bomba Booster	5 868
9	Falla de bomba de inyección de productos químicos	8 802
10	Falla en sistema de lubricación de la cámara de empuje de la bomba HPS	7 335

Fuente: Elaboración propia

## 5.5 Índices de rendimiento económico

A pedido de la Gerencia Operativa se elaboró el cuadro de rendimiento de los componentes en los que se introdujo mejoras.

Cuadro 5.5 Índices de rendimiento económico

<b>Producción inicial PI (BOPA)</b>	<b>Producción después de introducir las mejoras PDM (BOPA)</b>	<b>Índice de producción PDM/PI</b>
<b>83 126</b>	<b>127 491</b>	<b>1,53</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 6

### COSTOS

Para un mejor entendimiento los costos se han dividido en los siguientes rubros:

Costos de mejoras en las instalaciones.

Costos de mejoras en los equipos

Costos de capacitación del personal.

#### 6.1 Costos de mejoras en las instalaciones

Cuadro 6.1 Costos de mejoras en las instalaciones

Item	Descripción	Costo (\$)
Bomba Booster	Instalación de filtro adicional en línea de succión de la bomba booster	368 389
Bomba HPS	Instalación de filtro y línea adicional en la línea de succión de la bomba HPS	519 885
	<b>TOTAL</b>	<b>888 274</b>

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Costos de mejoras en equipos

Cuadro 6.2 Costos de mejoras en equipos

Ítem	Descripción	Costo (\$)
Sello mecánico entre cámara de empuje y bomba HPS	- Acuerdo Marco. - Mejorar calidad de kit de reparación. - Capacitación del personal	1 200
Sello mecánico de bomba Booster	- Acuerdo Marco. - Mejorar calidad de kit de reparación. - Capacitación del personal	1 200
Variador de frecuencia MVD del motor de la bomba HPS	Confección de rejillas para desmontaje y montaje rápido	500
Variador de frecuencia VSD del motor de la bomba Booster	Confección de rejillas para desmontaje y montaje rápido	500
Alineamiento entre conjunto motor-bomba Booster	- Confección y montaje dispositivos de regulación y sujeción del skid. - Incorporar alineador láser	1 600
Alineamiento entre conjunto motor-cámara de empuje-bomba HPS	- Confección y montaje dispositivos de regulación y sujeción del skid. - Incorporar <i>alineador láser</i>	1 600
Bomba de inyección de productos químicos	- Cambio de accesorios de acero al carbono por acero inoxidable SS316 - Cambio de émbolos por otros de mejor calidad - Charlas de capacitación	3 200
Sistema lubricación a cámara de empuje de bomba HPS	- Inspección diaria y registro de control. - Programa de mantenimiento semanal.	500
	<b>TOTAL</b>	<b>10 300</b>

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 Costos de capacitación del personal

Cuadro 6.3 Costos de capacitación del personal

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$)</b>
Charlas motivacionales	Visita de especialistas al campo para dictar charlas de coaching, trabajo en equipo y comunicación eficaz	1 800
Capacitación en temas de Mantenimiento	Asistencia de 6 técnicos a Cursos de entrenamiento en reparación de sellos mecánicos y alineamiento de equipos. Uso del alineador láser	3 600
Uso de técnicas de trabajo en equipo. Trabajo colaborativo y trabajo corporativo	Puesta en la práctica del "Decálogo del Desarrollo"	3 200
Charlas técnicas sobre herramientas de la calidad	Se desarrolló entre el personal técnico el curso de aplicación de diagrama causa efecto para Análisis Causa Raíz. Se dictó charla sobre el Diagrama de Pareto	1 600
Pasantías en el exterior e interior del país	Visita de reconocimiento de instalaciones similares en Ecuador de 2 Ingenieros. Viaje de 4 técnicos de campo al taller de Schlumberger en Iquitos para entrenamiento en análisis de fallas de bombas HPS.	2 700
	<b>TOTAL</b>	<b>12 900</b>

Fuente: Elaboración propia

## 6.4 Distribución de los costos

Cuadro 6.4 Distribución de Costo

<b>Ítem</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Costos de mejoras en las instalaciones	888 274	97,45
Costos de mejoras en equipos	10 300	1,13
Costos de capacitación del personal	12 900	1,42
<b>TOTAL</b>	<b>911 474</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

1. Las mejoras propuestas y su implementación, en los filtros y las tuberías, llevó a que las pérdidas económicas de \$ 4 268 970, sean eliminadas por completo.
2. Las mejoras y su implementación, en los sellos mecánicos de las bombas Booster y HPS, significaron una reducción económica de \$ 134 964 a \$ 52 812.
3. Las mejoras y su implementación, en el realineamiento de bombas Booster y de las bombas HPS, significaron una reducción de la pérdida económica de \$ 79 218 a \$ 24 206.
4. Las mejoras y su implementación, en los variadores de frecuencia VSD y MVD, de los motores eléctricos de las bombas Booster y HPS, significaron una reducción de pérdida económica de \$ 32 274 a \$ 17 604.
5. Las mejoras y su implementación a bomba de inyección de química, significaron una reducción de pérdida económica de \$ 11 736 a \$ 2 934
6. Las mejoras y su implementación en el sistema de enfriamiento de la cámara de empuje de la bomba HPS, significaron una reducción de pérdida económica de \$ 8 802 a \$ 1 467
7. La eliminación total de pérdida de producción en los filtros y las líneas, se debe a la naturaleza de los componentes del sistema de reinyección que permitieron implementar stand by para cada caso.
8. Las mejoras propuestas y su implementación, en el sistema de reinyección de agua salada en su totalidad, significaron un reducción de \$ 4 535 964 a \$ 99 023. Es decir un ahorro de \$ 4 436 941.
9. El costo total que demandó la implementación de mejoras, en el Sistema de Reinyección de agua salada fue de \$ 911 474.
10. Considerando los 2 últimos ítems, se tiene un beneficio de \$ 3 525 467 en un año.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Perú: DS 054-2001-PCM Reglamento General del Organismo Superior de la Inversión en Energía.
2. Perú: DS 055-93EM Reglamento de la Actividad de Exploración y Explotación de Hidrocarburos.
3. Perú: Ley 26221 Ley Orgánica de Hidrocarburos.
4. Api 610 Enero 2003 9° Edición. Entre BB3 y BB5. Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries (ISO adoption of ISO 13709).
5. ISO 14224 versión 2006 “Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos”. (Modos de falla tabla B.6; Mecanismo de falla tabla B.2; Causa de falla tabla B.3; Método de detección tabla B.4).
6. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). Conferencia, conocida como Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992
7. Manual de Fabricante de bombas REDA Enero 2004 – SCHLUMBERGER – HPS horizontal pumping system
8. Manual de Fabricante de bombas GOULDS PUMPS – ITT Industries - 2002 Goulds Pump Inc – 3410 IOM 10/02
9. Manual de Fabricante de motores SIEMENS – Instalation, Operation and Maintenance Induction Motors Siemens 500, 580, 680, 800, 1120 Frames – 2002 Siemens Energy & Automation Inc.
10. PMM Institute for Learning – IT Consol – Gestión de Activos PAS 55 – “Asset Management.
11. SIFUENTES SANCHO, JORGE FAVIO. Curso de Informe de Suficiencia Profesional dictado en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el XX Programa de Titulación Profesional por Actualización de Conocimientos. Lima, 2012.

## **APÉNDICE**

- APÉNDICE A:** Presupuesto para instalación de filtro adicional de 16” en la bomba Booster del Sistema de Reinyección de agua salada
- APÉNDICE B:** Presupuesto de instalación de filtro y línea adicional de 8” en la bomba HPS del Sistema de Reinyección de agua salada.
- APÉNDICE C:** Programa de mantenimiento del Sistema de Reinyección de agua salada.

**APÉNDICE A: Presupuesto para instalación de filtro adicional de 16” en la  
bomba Booster del Sistema de Reinyección de agua salada**

**PRESUPUESTO INSTALACIÓN FILTRO ADICIONAL DE 16" EN BOMBA BOOSTER . SISTEMA DE REINYECCIÓN**

<b>MATERIALES</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>METRADO</b>	<b>PRECIO UNIT (US\$)</b>	<b>PARCIAL</b>
1.00	ELBOW, PIPE, 90 DEG., 16 IN. STEEL, WELD, LR, SCH. 80	Pza.	2.00	2,085.00	4,170.00
2.00	TEE, PIPE, 16 IN. STEEL, WELD, STD, ASTM A-234.	Pza.	2.00	2,503.00	5,006.00
3.00	FLANGE, PIPE, 16 IN. ANSI 300, WELD NECK, RF, BORE STD.	Pza.	10.00	380.00	3,800.00
4.00	VALVE, GATE, 16 IN. ANSI 300, RFFE, CARBON STEEL, 350 DF	Pza.	4.00	15,600.00	62,400.00
5.00	BOLT, STUD, 7/8 IN x 4 3/4 IN., STEEL, NC2, GR. B-7, ASTM A-193, WITH 2 AMER, STD, HEAVY, GR. 2H, ASTM A-194, HEX NUTS.	Pza.	96.00	11.50	1,104.00
6.00	GASKET, 16 IN., ANSI 300, SPIRALWOUND, 304 SS, FLEXITALLIC.	Pza.	12.00	36.00	432.00
7.00	PIPELINE, 16 IN X 40 FT NOMINAL, SCH 80, GRADE API 5L X-52, 0.406 IN. WALL, SEAMLESS, 53.52 LB/FT, BLACK, STD, DOUBLE RANDOM.	Pza.	6.00	3,457.60	20,745.60
8.00	FILTRO TIPO CANASTA DE 8 IN, ANSI 300, BRIDADO, CON TAPA SUPERIOR PARA RETIRO RÁPIDO EN LIMPIEZA DE CANASTILLA.	Pza.	1.00	12,100.00	12,100.00
9.00	Thredolet 1"x3000	Pza.	4.00	18.00	72.00
10.00	PINTURA ANTICORROSIVA (BASE)	Gl	15.00	20.00	300.00
11.00	PINTURA DE ACABADO EPÓXICA	Gl	22.00	35.00	770.00
12.00	THINNER, BROCHAS, TRAPO.	Glb	1.00	50.00	50.00
<b>COSTO TOTAL MATERIALES US\$</b>					<b>\$110,949.60</b>

<b>PERDIDA DE PRODUCCIÓN</b>					
	<b>COSTO DE PRODUCCIÓN DIFERIDA DURANTE TRABAJOS</b>	<b>Producción diaria (Bls)</b>	<b>Duración trabajos (días)</b>	<b>Costo Barril (US\$)</b>	<b>PARCIAL</b>
	Duración de trabajos 6 días				
	Producción del pozo	352.00	6.00	100.00	211,200.00
<b>COSTO TOTAL MATERIALES US\$</b>					<b>\$211,200.00</b>

MANO DE OBRA Y ALQUILER DE EQUIPOS

PLAZO: 6 DIAS

PRESUPUESTO EJECUCIÓN DE MONTAJE DE FILTRO					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio Unit (\$)	Parcial (\$)
<b>1.00</b>	<b>CONTROL Y SUPERVISION</b>				
1.01	Ingeniero Senior ( de 5 años a 9 años experiencia )	día	6.00	280.00	1.680.00
1.02	Camioneta 4x4 de 10 pasajeros, incluye chofer	día	6.00	120.00	720.00
<b>2.00</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES EN TALLER PARA PREFABRICAR CARRETES Y LINEAS DE SUCCION PARA INSTALAR FILTRO STAND BY EN BOMBA BOOSTER P-102</b>				
2.01	Preparación de marcos "H"	Und	8.00	700.00	5.600.00
2.02	Prefabricado de carretes en tubería de 16" diam., SCH 80 x 6 m.	Und	6.00	550.00	3.300.00
2.03	Armado, biselado y soldeo de codo de 16" x 90° SCH 80	Und	2.00	330.00	660.00
2.04	Armado, biselado y soldeo de "T" de 16" SCH 80	Und	2.00	420.00	840.00
2.05	Armado, biselado y soldeo de Bidas de 16" - 300 #	Und	10.00	330.00	3.300.00
<b>3.00</b>	<b>TRASLADO MATERIALES DESDE EL TALLER DE SOLDADURA HACIA LA ZONA DE TRABAJO</b>				
3.01	Apoyo con camión Grúa para traslado de carga prefabricada hacia lugar de trabajo, incluye operador y aparejos de izaje.	día	2.00	500.00	1.000.00
<b>4.00</b>	<b>MONTAJE DE FILTRO ADICIONAL DE STAND BY EN BOMBA BOOSTER P-102</b>				
4.01	Apoyo con personal para colocar/retirar platos ciegos y drenajes				
4.01.01	Operario	día	2.00	100.00	200.00
4.01.02	Ayudante especializado	día	6.00	80.00	480.00
4.02	Excavacion y cierre de zanja en cruce de acceso a manifold de filtro ( 9m x 1.75m x 1m prof = 15.75m <sup>3</sup> , rend = 1.3 m <sup>3</sup> /día )				
4.02.01	Ayudante especializado	día	12.00	80.00	960.00
4.03	Instalación de Soporteria en manifold de filtros				
4.03.01	Soportes tipo SP-05 para líneas de succión de 16".				
4.03.01.01	Fabricación Montaje Estructuras Metalicas Tub 2" - 4"	kg	100.00	10.00	1.000.00
4.03.02	Soportes tipo SS-08 para manifold de filtro en succión				
4.03.02.01	Fabricacion Montaje Estructuras Metalicas Tub 16" o mas	kg	350.00	10.00	3.500.00
4.03	Instalación de Marcos H en línea de 16" que alimenta a B. Booster				
4.03.01	Soporte Marco H Prof +- 3m d <600m ( Marco de 6" equivale a 1 5 veces marco de 4" )	Und	8.00	600.00	4.800.00
4.03.02	Transp Tubería Acero 16" Sch 80 Regado d <600m	Und	6.00	280.00	1.680.00
4.04	Instalación de línea de 16 y Filtro stand by en nuevo manifold de filtros. Dirección capataz armador, 2 soldadores, 2 esmeriladores y 10 ayudantes especializados				
4.04.01	Apoyo con camión Grúa para maniobras de presentación y apoyo en colocación de filtro y tuberías prefabricadas, incluye operador y aparejos de izaje.	día	6.00	500.00	3.000.00
4.04.02	Corte Tubería 16" T S Sch 80	Und	4.00	85.00	340.00
4.04.03	Biselado Tubería 16" T S Sch 80	Und	4.00	85.00	340.00
4.04.04	Soldado Tubería Acero 16" Sch 80	Pga	10.00	150.00	1.500.00
4.04.05	Armado, biselado y soldeo de Bidas de 16" - 300 #	Und	4.00	220.00	880.00
4.04.06	Colocacion Valvula Acero 16" No Incl Sum Valv, Empa q o Esparr	Und	4.00	350.00	1,400.00
<b>5.00</b>	<b>TRABAJOS FINALES</b>				
5.01	Limpieza y pintado de estructura y tuberías				
5.01.01	Pintura Estructuras Metalicas	m2	180.00	42.00	7.560.00
5.02	Limpieza del Terreno				
5.02.01	Apoyo con camión Grúa para maniobras de limpieza de material sobrante y despeje del área de trabajo, incluye operador y aparejos de izaje.	día	1.00	500.00	500.00
5.02.02	Apoyo a Producción manipuleo de válvulas para dar inicio a la operación, recolección de todos los materiales sobrantes y limpieza exhaustiva del área de trabajo y alrededores impactados.	m2	500.00	1.00	500.00
5.02.03	Transporte de equipos y material sobrante fuera del área de trabajo	Gbl	1.00	500.00	500.00
<b>PRESUPUESTO US\$ (DÓLARES)</b>					<b>USD 46,240.00</b>

**APÉNDICE B: Presupuesto de instalación de filtro y línea adicional de 8” en la bomba HPS del Sistema de Reinyección de agua salada.**

**PRESUPUESTO INSTALACIÓN FILTRO Y LÍNEA ADICIONAL DE 8" EN BOMBA HPS SISTEMA DE REINYECCIÓN**

**MATERIALES**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	PRECIO UNIT (US\$)	PARCIAL
1.00	ELBOW, PIPE, 90 DEG., 8 IN. STEEL, WELD, LR, SCH. 80	Pza.	2.00	250.00	500.00
2.00	TEE, PIPE, 8 IN. STEEL, WELD, STD, ASTM A-234.	Pza.	3.00	292.00	876.00
3.00	FLANGE, PIPE, 8 IN. ANSI 300, WELD NECK, RF, BORE STD.	Pza.	12.00	190.00	2,280.00
4.00	VALVE, GATE, 8 IN., ANSI 300, RFFE, CARBON STEEL, 350 DF	Pza.	4.00	12,000.00	48,000.00
5.00	BOLT, STUD, 7/8 IN x 4 3/4 IN., STEEL, NC2, GR. B-7, ASTM A-193, WITH 2 AMER, STD, HEAVY, GR. 2H, ASTM A-194, HEX NUTS.	Pza.	96.00	7.50	720.00
6.00	GASKET, 8 IN., ANSI 300, SPIRAL-WOUND, 304 SS, FLEXITALLIC.	Pza.	14.00	18.00	252.00
7.00	PIPELINE, 8 IN X 40 FT NOMINAL, SCH 80, GRADE API 5L X-52, 0.406 IN. WALL, SEAMLESS, 53.52 LB/FT, BLACK, STD, DOUBLE RANDOM.	Pza.	18.00	1,278.60	23,014.80
8.00	FILTRO TIPO CANASTA DE 8 IN, ANSI 300, BRIDADO, CON TAPA SUPERIOR PARA RETIRO RÁPIDO EN LIMPIEZA DE CANASTILLA.	Pza.	1.00	10,500.00	10,500.00
9.00	Thredolet 1"x3000	Pza.	6.00	18.00	108.00
10.00	PINTURA ANTICORROSIVA (BASE)	Gl	30.00	20.00	600.00
11.00	PINTURA DE ACABADO EPÓXICA	Gl	35.00	35.00	1,225.00
12.00	THINNER, BROCHAS, TRAPO.	Gl	1.00	150.00	150.00
	<b>COSTO TOTAL MATERIALES US\$</b>				<b>\$88,225.80</b>

**PERDIDA DE PRODUCCIÓN**

COSTO DE PRODUCCIÓN DIFERIDA DURANTE TRABAJOS	Producción diaria (Bis)	Duración trabajos (días)	Costo Barril (US\$)	PARCIAL
Duración de trabajos 6 días				
Producción del pozo VICH 07	352.00	10.00	100.00	352,000.00
<b>COSTO TOTAL MATERIALES US\$</b>				<b>\$352,000.00</b>



MANO DE OBRA Y ALQUILER DE EQUIPOS

PLAZO: 10 DIAS

PRESUPUESTO EJECUCIÓN DE MONTAJE DE FILTRO					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio unit	Parcial
1.00	<b>CONTROL Y SUPERVISION</b>				
1.01	Ingeniero Senior ( de 5 años a 9 años experiencia )	día	10.00	280.00	2,800.00
1.02	Camioneta 4x4 de 10 pasajeros. incluye chofer	día	10.00	120.00	1,200.00
2.00	<b>TRABAJOS PRELIMINARES EN TALLER PARA PREFABRICAR CARRETES Y LINEAS DE SUCCION PARA INSTALAR FILTRO STAND BY EN BOMBA HPS</b>				
2.01	Preparación de marcos "H"	Und	24.00	600.00	14,400.00
2.02	Prefabricado de carretes en tubería de 8" diam., SCH 80 x 6 m.	Und	20.00	350.00	7,000.00
2.03	Armado, biselado y soldeo de codo de 8" x 90° SCH 80	Und	2.00	220.00	440.00
2.04	Armado, biselado y soldeo de "T" de 8" SCH 80	Und	3.00	320.00	960.00
2.05	Armado, biselado y soldeo de Bidas de 8" - 300 #	Und	12.00	220.00	2,640.00
3.00	<b>TRASLADO MATERIALES DESDE EL TALLER DE SOLDADURA HACIA LA ZONA DE TRABAJO</b>				
3.01	Apoyo con camión Grúa para traslado de carga prefabricada hacia lugar de trabajo, incluye operador y aparejos de izaje.	día	4.00	500.00	2,000.00
4.00	<b>MONTAJE DE FILTRO ADICIONAL DE STAND BY EN BOMBA HPS</b>				
4.01	<b>Apoyo con personal para colocar/retirar platos ciegos y drenajes</b>				
4.01.01	Operario	día	2.00	100.00	200.00
4.01.02	Ayudante especializado	día	12.00	80.00	960.00
4.02	Excavacion y cierre de zanja ( 18m x 1.75m x 1m prof = 31.50m <sup>3</sup> , rend = 1.3 m <sup>3</sup> /día )				
4.02.01	Ayudante especializado	día	24.00	80.00	1,920.00
4.03	<b>Instalación de Soportería en manifold de filtros</b>				
4.03.01	<b>Soportes tipo SP-05 para líneas de succión de 8"</b>				
4.03.01.01	Fabricacion Montaje Estructuras Metalicas Tub 2" - 4"	kg	100.00	10.00	1,000.00
4.03.02	<b>Soportes tipo SS-08 para manifold de filtro en succión</b>				
4.03.02.01	Fabricacion Montaje Estructuras Metalicas Tub 8" o mas	kg	350.00	10.00	3,500.00
4.03	<b>Instalación de Marcos H en línea de 8" que alimenta a B. HPS</b>				
4.03.01	Soporte Marco H Prof +- 3m d <600m ( Marco de 6" equivale a 1.5 veces marco de 4" )	Und	20.00	600.00	12,000.00
4.03.02	Transp Tubería Acero 8" Sch 40 Regado d <600m	Und	6.00	200.00	1,200.00
4.04	<b>Instalacion de línea de 8" y Filtro stand by en nuevo manifold de filtros. Dirección capataz armador, 2 soldadores, 2 esmerilladores y 10 ayudantes especializados</b>				
4.04.01	Apoyo con camión Grúa para maniobras de presentación y apoyo en colocación de filtro y tuberías prefabricadas, incluye operador y aparejos de izaje	día	10.00	500.00	5,000.00
4.04.02	Corte Tubería 8" TS Sch 80	Und	12.00	85.00	1,020.00
4.04.03	Biselado Tubería 8" TS Sch 80	Und	12.00	85.00	1,020.00
4.04.04	Soldado Tubería Acero 8" Sch 80	Pga	12.00	150.00	1,800.00
4.04.05	Armado, biselado y soldeo de Bidas de 8" - 300 #	Und	12.00	220.00	2,640.00
4.04.06	Colocacion Valvula Acero 8" No Incl Sum Valv, Empaq o Esparr	Und	4.00	350.00	1,400.00
5.00	<b>TRABAJOS FINALES</b>				
5.01	<b>Limpieza y pintado de estructura y tuberías</b>				
5.01.01	Pintura Estructuras Metalicas	m <sup>2</sup>	280.00	42.00	11,760.00
5.02	<b>Limpieza del Terreno</b>				
5.02.01	Apoyo con camión Grúa para maniobras de limpieza de material sobrante y despeje del área de trabajo, incluye operador y aparejos de izaje.	día	1.00	500.00	500.00
5.02.02	Apoyo a Producción manipuleo de válvulas para dar inicio a la operación, recolección de todos los materiales sobrantes y limpieza exhaustiva del área de trabajo y alrededores impactados.	m <sup>2</sup>	800.00	1.00	800.00
5.02.03	Transporte de equipos y material sobrante fuera del área de trabajo	Gbl	1.00	1,500.00	1,500.00
<b>PRESUPUESTO US\$ (DÓLARES)</b>					<b>USD 79,660.00</b>

**APÉNDICE C: Programa de mantenimiento del sistema de Reinyección de agua  
salada.**

# **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA SALADA**

**AUTORES:**

**CARLOS CHUMPÉN ELERA**

**PEDRO VIZCARRA NÚÑEZ**

**JAIME DÍAZ LUNA**

**ENERO 2010**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 1 de 15

1. OBJETIVO
2. ALCANCE
3. EQUIPO DE REDACCIÓN DE TÁCTICAS
4. DEFINICIONES, TERMINOS Y ABREVIATURAS
5. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA
6. NORMATIVA DE REFERENCIA ADOPTADA
7. MARCO LEGAL (indicar ámbito de aplicabilidad)
8. LISTADO DE MEJORES PRÁCTICAS
9. ANEXOS

### 1. OBJETIVO

Disponer de la estrategia y la documentación necesaria para Planificar las tareas, que lleven a mejorar la calidad del servicio de mantenimiento de las bombas reinyección de agua salada marca REDA - Schlumberger, verificando el cumplimiento del marco legal local y las definiciones de la compañía.

### 2. ALCANCE

El presente programa es de aplicación a todos los Sistemas de Reinyección de Agua Salada de los pozos ubicados en el Lote.

### 3. EQUIPO DE REDACCIÓN DE TÁCTICAS

Nombre	Función	Compañía
Jaime Díaz Luna	Supervisor de Mantenimiento Mecánico de Reinyección de Agua	PPN

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 2 de 15

Carlos Chumpén	Planificador	PPN
Pedro Vizcarra	Auditor Mec. de Mantenimiento	PPN

#### 4. DEFINICIONES, TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

- Confiabilidad
- Documentación calificada
- (Consultar definiciones en la ISO 14224: Modos de falla tabla B.6; Mecanismo de falla tabla B.2; Causa de falla tabla B.3; Método de detección tabla B.4).

#### 5. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- Listado de Fallas / Problemas Operativos: CMMS JDE.
- Planilla de Criterios de Aceptación y Rechazo: Manual de Fabricante de la bomba (REDA Schlumberger).
- Guía de Condición Básica

#### 6. NORMATIVA DE REFERENCIA ADOPTADA

- API 610 Enero 2003 9° Edición. Entre BB3 y BB5. Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries \*\*\* ISO adoption of ISO 13709 \*\*\*
- ISO 14224 versión 2006 "Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos".

#### 7. MARCO LEGAL (indicar ámbito de aplicabilidad)

- Perú: DS 054-2001-PCM Reglamento General del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía
- Perú: DS 055-93-EM Reglamento de la Actividad de Exploración y Explotación de Hidrocarburos
- Perú: Ley 26221 Ley Orgánica de hidrocarburos

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 3 de 15

- Perú: DL 613 Código de Medio Ambiente y Recursos Naturales

## 8. LISTADO DE MEJORES PRÁCTICAS

### *A-Mandatorias*

- Evitar que la bomba gire con la válvula de descarga cerrada mas de 30 segundos
- Requerir documentación de ensayo de rendimiento certificado. API 610 4.3 Testing.
- En medición vibraciones, si se registra cambio de pendiente en la tendencia se debe analizar la razón de este evento comunicando de este hecho al área de Mantenimiento Predictivo para realizar análisis vibracional. (valor normal total < de 4,5 mm/s).
- Generación de protocolo inicial de calibración y ajuste de equipos electrónicos
- Llenado del parte diario de mantenimiento

Durante las prácticas de mantenimiento y operación:

- Verificar cambios en los niveles de ruido del equipo
- Utilizar las bombas dentro del rango óptimo de presiones (curvas de bombas)
- Utilizar una política adecuada de redundancia a fin operar regularmente las bombas de Stand by.
- Disponer de repuestos y materiales consumibles para la ejecución adecuada de los trabajos de mantenimiento planificado. (Ver anexo 03).
- El operador deberá verificar diariamente los siguientes valores:
  1. Ruidos Anormales ( Audibles)
  2. Nivel del lubricante y agregar si fuese necesario
  3. Temperatura de Cojinetes ( pistola de temperatura)
  4. Temperatura de la cámara de empuje ( Máximo 90°C)
  5. Presión Diferencial del Filtro de Succión ( Máximo 1 Psi)
  6. Presión Diferencial del Filtro de Aceite Cámara de Empuje (Máximo 15 Psi).
  7. Pérdidas de fluidos, si se observa reportar.
  8. Parámetros Operativos.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 4 de 15

**b- Optativas**

- Seteo de parada por alta temperatura de la cámara de empuje ( $\geq 90^{\circ}\text{C}$ ).
- En caso de pruebas de Motores, desacoplar la bomba para limitar el número de arranques.
- Transmisor de presión rossemount succión (0 – 800 psi; salida 4-20 mA).
- Transmisor de presión rossemount descarga (0 – 4000 psi; salida 4-20 mA).
- RTD - Pt 100, incluido convertidor acromag para salida señal (4 – 20 mA).
- Medidor de flujo Panametric salida (4 – 20 mA).
- Switch de presión Murphy succión rango (0 – 300 PSI).
- Switch de presión Murphy descarga rango (0 – 3000 PSI).
- Protección para nivel de aceite.
- En caso de pruebas de Motores, desacoplar la bomba para limitar el número de arranques.
- Limpieza de maleza y ramas cercanas a los equipos.

**9. ANEXOS**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 5 de 15

### Anexo N°1

#### “Planilla de Criterios de Aceptación y Rechazo”

<b>PM SPECIFICATIONS</b>	
Motor Eléctrico	125-1250 HP
Cámara de empuje	18000 lbs-fuerza
Temperatura Bomba hasta	230 °F
Presión descarga hasta	5000 Psi
<b>TORQUES IN FT/LBS</b>	
Motor foot	250 ft. lbs
Flexible Coupling Cover	200 in lbs
HTC Mounting Bracket	250 ft. lbs
HTC foot	75 ft-lbs
Cross Member Support	250 ft. lbs
Cross Member U-bolt	20 ft. lbs
Cradle Cap	20 ft. lbs
Extension Skid	250 ft. lbs
Intake	50 ft. lbs
Discharge	50 ft. lbs
Pressure Gauges	15 ft lbs
Pressure Gauge Mounting Stand	35 ft lbs
<b>CLEARANCES</b>	
Maximum soft foot should be	≤ 0.002”
Maximum mis-alignment	Tolerance @ 3600 rpm
Offset	≤ 0.001”
Angularity	≤ 0.002”
component vibration levels	
Motor	= < 0.05 in/sec
HTC	= < 0.10 in/sec
Pump	= < 0.10 in/sec



PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	001-2010
REINYECCIÓN DE AGUA SALADA	Versión: 1 Revisión: 0
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS	Página 6 de 15

**Anexo N°2**  
**Planilla de Responsables y Frecuencias de Realización de las Tareas Rutinarias a Ejecutar**

Código de tarea	Descripción de Tareas	Diario.	250 Hrs.	750 Hrs.	3000 Hrs.	6000 Hrs.	12000 Hrs.	Tiempo insumido en la ejecución

**INSPECCIONES DIARIAS ( OPERADOR Y MANTENEDOR)**

	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE DE LA CÁMARA DE EMPUJE	X						0.05
	REGISTRAR TEMPERATURA DE ACEITE DE LA CÁMARA (SE REGISTRA LA TEMP. DE LA CÁMARA)	X						0.05
	REGISTRAR PRESIÓN DE INGRESO Y SALIDA DE LA BOMBA	X						0.1
	VERIFICAR PÉRDIDAS DE ACEITE Y AGUA EN EL SISTEMA	X						0.1
	VERIFICAR PRESIÓN DE ACEITE DE LA CÁMARA DE EMPUJE	X						0.01
	VERIFICAR RUIDOS	X						0.05

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 7 de 15

Código de tarea	Descripción de Tareas	250 Hrs.	750 Hrs.	3000 Hrs.	6000 Hrs.	12000 Hrs.	Tiempo insumido en la ejecución
		Responsable:					
Grado Instrucción Profesional:							

### **MECÁNICOS**

	REGISTRO DE PARÁMETROS OPERATIVOS DEL EQUIPO IN SITU Y EN VSD.	X	X	X	X	X	0,1
	REGISTRO VIBRACIONAL DEL EQUIPO (VALORES TOTALES).	X	X	X	X	X	0,1
	LAVADO EXTERNO DE SELLO MECÁNICO	X	X	X	X	X	0,05
	REVISION DEL NIVEL DE ACEITE EN SISTEMA OIL COOLER. COMPLETAR LA CARGA DE SER NECESARIO.	X	X	X	X	X	0,05
	VERIFICACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE ENGRASADORES AUTOMÁTICOS TAC TIC (MOTOR ELÉCTRICO).	X	X	X	X	X	0,05
	INSPECCION VISUAL DEL EQUIPO EN OPERACION E IDENTIFICACION DE RUIDOS ANORMALES EN EL EQUIPO.	X	X	X	X	X	0,1
	LIMPIEZA DEL SKID Y ÁREA DE TRABAJO.	X	X	X	X	X	0,5
	LIMPIEZA EXTERNA DEL FILTRO DE AIRE PARA MOTOR ELÉCTRICO.		X	X	X	X	0,2
	LIMPIEZA DE FILTROS LOS FILTROS STRAINERS EN LA SUCCIÓN DE LA BOMBA			X	X	X	0,1
	DESACOPLAMIENTO DE CODO EN LA SUCCIÓN DE LA BOMBA.			X	X	X	0,05
	INSPECCIÓN DE LA NORMAL CONDICIÓN DEL ACOPLAMIENTO ESTRIADO CÁMARA-BOMBA.			X	X	X	0,1
	ACOPLAMIENTO DE CODO EN LA SUCCIÓN DE LA BOMBA.			X	X	X	1

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	001-2010
REINYECCIÓN DE AGUA SALADA	Versión: 1 Revisión: 0
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS	Página 8 de 15

	REVISIÓN DE LA NORMAL CONDICIÓN DEL ACOPLAMIENTO FALK MOTOR-CÁMARA (GRASA, AJUSTE Y MEDIDAS).			X	X	X	0,5
	REVISIÓN DEL NIVEL DE ACEITE EN SISTEMA OIL COOLER. COMPLETAR LA CARGA DE SER NECESARIO.			X	X	X	0,5
	LIMPIEZA EXTERNA DEL RADIADOR PARA EL SISTEMA OIL COOLER			X	X	X	0,2
	VERIFICACIÓN DEL CORRECTO ALINEAMIENTO MOTOR-CAMARA. CORREGIR DE SER NECESARIO.			X	X	X	0,1
	REGISTRO DE PARÁMETROS OPERATIVOS DEL EQUIPO IN SITU Y EN VSD DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO.			X	X	X	0,5
	REGISTRO VIBRACIONAL DEL EQUIPO (VALORES TOTALES) DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO.			X	X	X	0,5
	CAMBIO DE CARTUCHOS DE GRASA Y PILAS EN ENGRASADORES AUTOMATICOS TAC TIC				X	X	0,5
	CAMBIO DE FILTRO DE ACEITE PH8A DEL SISTEMA DE OIL COOLER				X	X	0,1
	CAMBIO DE MANGUERAS DEL SISTEMA OIL COOLER.				X	X	0,1
	CAMBIO DE ACEITE EN EL SISTEMA DEL OIL COOLER.				X	X	0,2
	REVISIÓN DE VÁLVULA CHECK DE 6 x 1500 EN EL SITIO.				X	X	0,1
	DESMONTAJE DE CARRETE.					X	0,1
	CAMBIO DE VÁLVULA CHECK 6 x 1500 (1 o 2 EA).					X	0,1
	DESACOPLAMIENTO BOMBA - BOMBA / BOMBA - INTAKE / INTAKE - CABEZAL DE SELLO.					X	0,1
	VERIFICACIÓN DE JUEGOS AXIALES DE LAS BOMBAS.					X	0,05
	CAMBIO DE O'RINGS DE BOMBAS Y CABEZAL.					X	0,2
	MANTENIMIENTO DE SELLO MECANICO.					X	1
	PRUEBA HIDRÓSTATICA DE SELLO MECANICO TIPO 8B1					X	1
	ACOPLAMIENTO BOMBA - BOMBA / BOMBA - INTAKE / INTAKE - CABEZAL DE SELLO					X	1
	VERIFICACIÓN DE ALINEAMIENTO BOMBA-BOMBA					X	0,2
	MONTAJE DE CARRETE.					X	0,5
	PINTADO DE TUBERÍAS Y ELECTROBOMBA.					X	1

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	001-2010
REINYECCIÓN DE AGUA SALADA	Versión: 1 Revisión: 0
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS	Página 9 de 15

Código de tarea	Descripción de Tareas	250 Hrs.	750 Hrs.	3000 Hrs.	6000 hrs.	12000 Hrs.	Tiempo insumido en la ejecución
		Responsable:					
Grado Instrucción Profesional:							

**ELECTRICISTA**

VERIFICACION DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y RESPECTIVAS PROTECCIONES ( CORRIENTE Y VOLTAJE)	X	X	X	X	X	
MEGADO DE MOTOR			X	X	X	0,5
MEDICIÓN DE RESISTENCIA OHMICA DEL BOBINADO.			X	X	X	0,1
LIMPIEZA DEL FILTRO DE AIRE DEL MOTOR ELÉCTRICO			X	X	X	0,1
LIMPIEZA SUPERFICIAL DEL ELECTRO VENTILADOR.			X	X	X	0,2
REVISIÓN DE CIRCUITOS DE CONTROL DE RESISTENCIA Y ELECTRO VENTILADOR			X	X	X	0,2
VERIFICACIÓN DE AJUSTES EN TERMINALES DEL MOTOR.			X	X	X	0,1
TOMA DE PARÁMETROS DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN TRAF0 DE POTENCIA DEL MOTOR PRE MANTENIMIENTO.					X	0,5
MANTENIMIENTO Y CAMBIO DE RODAJES DEL ELECTRO VENTILADOR.					X	1
PRUEBA DE IMPEDANCIA DEL ESTATOR.					X	0,1
VERIFICACIÓN ESTADO DEL CARBÓN.					X	0,2

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	001-2010
REINYECCIÓN DE AGUA SALADA	Versión: 1 Revisión: 0
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS	Página 10 de 15

Código de tarea	Descripción de Tareas	250 Hrs.	750 Hrs.	3000 Hrs.	6000 Hrs.	12000 Hrs.	Tiempo insumido en la ejecución
Responsable:							
Grado Instrucción Profesional:							

### INTRUMENTISTA

INSPECCIÓN DE INSTRUMENTOS.	X	X	X	X	X	0,1
LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE INSTRUMENTOS.			X	X	X	0,2
INSPECCIÓN Y CONTRASTACIÓN DE MANÓMETROS			X	X	X	0,2
INSPECCIÓN DE NIPLERIA, VÁLVULAS DE 1/2" Y FITING			X	X	X	0,2
REVISIÓN DE CAPILAR DE FLUSHING 3/8".			X	X	X	0,2
VERIFICACION DE LAZOS CONTROL POR MEDIO DE SIMULACION DE SEÑAL NORMALIZADA.			X	X	X	0,1
SIMULACIÓN DE PARADAS POR PROCESO.			X	X	X	0,5
SIMULACIÓN DE PARADAS POR PROCESO.			X	X	X	0,1
VERIFICACIÓN DE ACTIVACIÓN DE ALARMAS.				X	X	0,2
DESMONTAJE DE INSTRUMENTOS PARA LIMPIEZA, RECALIBRACIÓN Y SETEO DE PROTECCIONES.					X	4
DESMONTAJE DE VÁLVULA DE ALIVIO SUCCIÓN Y DESCARGA					X	0,5
MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE ALIVIO DE SUCCIÓN Y DESCARGA.					X	0,5

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 11 de 15

	MANTENIMIENTO, LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE INSTRUMENTOS					X	0,5
	INSPECCIÓN Y CONTRASTACIÓN DE MANÓMETROS SW DE PRESION Y TRANSMISORES DE PRESIÓN.					X	0,5
	REVISIÓN DE RTD Y PROTECCIÓN POR ALTA TEMPERATURA					X	0,5
	MONTAJE DE VÁLVULA DE ALIVIO SUCCIÓN Y DESCARGA					X	0,5
	VERIFICACIÓN DE AJUSTE DE TERMINALES EN BORNERAS DE TABLERO DE CONTROL Y VSD.					X	0,5

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 12 de 15

**Anexo N°3**  
**Lista de repuestos y materiales por frecuencia de mantenimiento**

<b>MANTENIMIENTO DE 250 Y 750 HRS.</b>			
<b>Cod. PPN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>U.M.</b>
33020157	ACEITE SHELL T-32	1	Gl.
33030214	GRASA STAMINA RSL 2 - SHELL	2	Und.
33100118	LUBRICADOR ELECTROMECAÁNICO TAC TIC	2	Und.
20060479	PILAS AA DE TAC TIC	6	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	2	Kg.
34020681	DETERGENTE	1	Kg.
38021749	ESCOBA	1	Und.
	RECOGEDOR	1	Und.

<b>MANTENIMIENTO DE 3000 Y 6000 HRS.</b>			
<b>Cod. PPN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>U.M.</b>
<b>PARA TRABAJOS MECÁNICOS</b>			
40040625	JUNTAS DE ASBESTO Ø 8" x 1/8"	2	Und.
40040625	JUNTAS DE ASBESTOS Ø 2" x 1/8"	2	Und.
40040625	JUNTAS DE ASBESTOS Ø 6" x 1/8"	2	Und.
33030205	GRASA FALK	1	Und.
33030214	GRASA STAMINA RSL 2 - SHELL	2	Und.
33020157	ACEITE SHELL T-32	1	Gl.
20060479	PILAS AA	6	Und.
33100118	LUBRICADOR ELECTROMECAÁNICO TAC TIC	2	Und.
20060479	PILAS AA DE TAC TIC	6	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	5	Kg.
34020681	DETERGENTE	1	Kg.
38021749	ESCOBA	1	Und.
	RECOGEDOR	1	Und.
33020361	AFLOJA TODO WD 40 o SIMILAR	1	Und.
33030194	GRASA SUELTA EP2 STAMINA	2	Kg.
16050387	FILTRO DE ACEITE CENTRILIF PH8A	1	UND
<b>PARA TRABAJOS ELÉCTRICOS</b>			
20081473	CINTA AISLANTE 1/2"	1	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	1	Kg.
<b>PARA TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN</b>			
38021296	CINTA TEFLÓN 1/2" o 1"	5	Und.
20081473	CINTA AISLANTE 1/2"	1	Und.
33020361	AFLOJA TODO WD 40 o SIMILAR	1	Und.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 13 de 15

37040167	LOCTITE 565	1	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	2	Kg.

<b>MANTENIMIENTO DE 12000 HRS.</b>			
<b>Cod. PPN</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>U.M.</b>
<b>PARA TRABAJOS MECÁNICOS</b>			
40040625	JUNTAS DE ASBESTOS Ø 8" x 1/8"	2	Und.
40040625	JUNTAS DE ASBESTOS Ø 2" x 1/8"	2	Und.
40040625	JUNTAS DE ASBESTOS Ø 6" x 1/8"	2	Und.
40040681	JUNTAS ESPIROMETÁLICAS 6 x 1500 ANSI	4	Und.
33030205	GRASA FALK	1	Und.
33030214	CARTUCHOS DE GRASA TAC TIC	2	Und.
20060479	PILAS AA	6	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	5	Kg.
33020157	ACEITE SHELL T-32	8	Gl.
	AGUA DULCE	50	Gl.
34020681	DETERGENTE	1	Kg.
38021749	ESCOBA	2	Und.
	RECOGEDOR	1	Und.
33020361	AFLOJA TODO WD 40 O SIMILAR	1	Und.
38021297	CINTA TEFLON 1/2" o 1"	1	Und.
33030218	GRASA SUELTA EP2 STAMINA	2	Kg.
	ORING'S PARA ACOPLAMIENTOS DE BOMBAS	4	Und.
37010446	PINTURA AZUL ELÉCTRICO, VERDE OSCURO Y ROJO	3	Gl.
16050404	MANGUE 68900 (HOSE HYD HTC3 RE SERVOIR 8)	1	Und.
16050405	MANGUE 66675 (HOSE HYD HTC3 RE SERVOIR 10')	1	Und.
16050403	MANGUE 66673 (HOSE HYD HTC3 RE SERVOIR 3')	2	Und.
41051446	BROCHA 2"	2	Und.
37040151	THINER	3	Gl.
38021514	HOJA ABRASIVA GRAN 400	3	Und.
38021511	HOJA ABRASIVA GRAN 100	2	Und.
16050387	FILTRO CENTRIFUGO PH8A	1	UND
En proceso	KID DE O'RINGS PARA SELLO MECÁNICO	1	Und.
38021503	DESENGRASANTE 275	5	Gl.
<b>PARA TRABAJOS ELÉCTRICOS</b>			
20081473	CINTA AISLANTE 1/2"	1	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	1	Kg.
37040202	SOLVENTE DIELECTRICO SS-25	1	Gl.
	CINTA TAPE x ROLLO	1	Und.
30010204	RODAMIENTOS SKF 6203-2Z/C3	2	Und.
33030065	GRASA DIELECTRICA	1	Gl.



PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 14 de 15

<b>PARA TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN</b>			
38021296	CINTA TEFLÓN 1/2" o 1"	5	Und.
20081473	CINTA AISLANTE 1/2"	1	Und.
33020361	AFLOJA TODO WD 40 o SIMILAR	1	Und.
37040167	LOCTITE 565	1	Und.
38021543	TRAPO INDUSTRIAL	2	Kg.
04021335	JUNTA ESPIROMETÁLICA 3 x 1500 ANSI	1	Und.
En proceso	O'RING JOINT 3 x 1500	1	Und.
40040625	JUNTA DE ASBESTO 4 x 150	1	Und.
40040625	JUNTA DE ASBESTO 3 x 150	1	Und.
40040625	JUNTA DE ASBESTO 4 x 300	1	Und.
P12110096	CAÑERÍA DE ACERO INX. 3/8"	100	pies
22070287	CONECTOR RECTO 1/4 x 3/8 INOX	4	Und.
22070985	CONECTOR RECTO 1/4 x 3/8 INOX	4	Und.
P11120020	BUSHING DE 1/2" x 1/4" INOX	4	Und.
22070358	UNION RECTA 2/8	2	Und.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	<b>001-2010</b>
<b>REINYECCIÓN DE AGUA SALADA</b>	Versión: 1 Revisión: 0
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBAS HPS</b>	Página 15 de 15

**Anexo N° 4: “Planilla de definición de Condición Básica”**

<b>Elemento</b>	<b>Requisito</b>
Filtro	De malla en la succión de la bomba.
Válvulas	De retención a clapeta en la descarga
Bomba	Identificación física del equipo
Cables de instrumentación y potencia	Protección Mecánica tipo cañeros y/o bandejas.
Instrumentos de Medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manómetro de Presión de Succión</li> <li>• Manómetro de presión diferencial de filtro de succión</li> <li>• Temperatura de fluido de succión</li> <li>• Manómetro de Presión de descarga</li> </ul>
Protecciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de presión de succión</li> <li>• T° de cojinetes.</li> <li>• Presión y T° de aceite.</li> <li>• Presión o caudal de agua de sellos.</li> <li>• Sensor de vibración de cojinetes por velocidad.</li> <li>• Válvula de bloqueo de descarga motorizada con corte de motor.</li> <li>• Presión diferencial filtro de succión.</li> </ul>