

# Evaluación del desempeño de un sistema de sellado, en un equipo de bombeo, utilizando técnicas de monitoreo de condición de termografía y realidad de movimiento aumentado

*Autores: Jhon Jairo Noguera Núñez*

*Cod: 11511411235*

*e-mail jnoguera426@uan.edu.com*

*Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica FIMEB*

*Programa Académico, Tecnología Electromecánica*

*Universidad Antonio Nariño*

*Bogotá sede sur*

*Director*

*Nicolas Giraldo Peralta I.M., M.Sc., Ph. D. Profesor FIMEB*

*e-mail nicolas.giraldo@uan.edu.com*

## **RESUMEN:**

Con el cambio en las condiciones operacionales del crudo en Colombia (tiende a mayor viscosidad), los sistemas mecánicos requieren de actualizaciones de tecnología para responder con los retos técnicos que se presentan en las facilidades de bombeo. El área de mantenimiento juega un rol muy importante en la continuidad de la operación y por ende ha desarrollado técnicas de monitoreo predictivas o basadas *en condición* que le permiten implementar y evaluar parámetros de calidad para definir la correcta operación de un equipo rotativo.

El presente proyecto realizó la verificación de la condición dinámica de un equipo rotativo antes y después del cambio del sistema de sellado, el cual, satisface las nuevas condiciones de operación de bombeo de crudo. La validación de los controles de calidad se realizó por medio del monitoreo de dos parámetros. El primero fue el desplazamiento leve o vibración leve del equipo de bombeo. Y el segundo, fue la temperatura del sistema de sellado. Las técnicas para hacer los monitoreos fueron la realidad de movimiento aumentada y la termografía.

Después de realizar la actualización del sistema de sellado conforme a la norma API 682 4ta edición (Instituto Americano del Petróleo) y realizados los monitoreos mencionados, se encontró que la condición dinámica del sistema de bombeo no varió y la transferencia de calor se optimizó.

**PALABRAS CLAVE:** *monitoreo por condición, realidad de movimiento aumentada, termografía, sistemas de sellado mecánico, API 682.*

## **ABSTRACT:**

*Given the change in operational conditions of crude oil in Colombia (tending to have higher viscosity), the mechanical systems require technology updates to respond to the technical challenges that arise in pumping facilities. The maintenance area represents a very important role in the continuity of the operation and therefore has developed predictive or condition-based monitoring techniques that allow the implementation and evaluation of quality parameters to define the correct operation of rotary systems.*

*This project verified the dynamic condition of the rotating equipment before and after the change of the sealing system that satisfies the new operating conditions of the pumped oil. The validation of the quality controls was carried out by monitoring two parameters. The first was the slight displacement or slight vibration of the pumping equipment. And the second was the temperature of the sealing system. The designated techniques used for monitoring were augmented reality of motion and thermography.*

*After the update and set up of the sealing system according to API 682 4th edition (American Petroleum Institute) and performed the monitoring operation the dynamic condition of the pumping system did not changed and heat transfer was optimized.*

**KEYWORDS:** *condition monitoring, augmented reality of motion, thermography, mechanical sealing systems, API 682.*

## I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En una estación de transporte de crudo se requiere oleoductos para llevar el hidrocarburo desde su origen de explotación hasta los sitios de requerimientos (Refinerías y/o puertos de despacho internacional) en esta operación se están presentando paradas operativas, cuando esta debería ser una operación continua (24 horas a la semana).

Colombia produce diariamente 894.518 barriles día [1], los cuales son extraídos y llevados a tratadores y separadores de humedad y lodos, para luego pasar el proceso de bombeo por oleoducto [2]. De manera natural a medida que se extrae el crudo del pozo éste va aumentando paulatinamente su viscosidad lo que dificulta su posterior bombeo. Tradicionalmente, para bajar la viscosidad, el crudo se diluye con refinados livianos. Sin embargo, este proceso tiene un alto costo por lo que no se realiza.

Adicional a lo anterior, los crudos de los yacimientos ubicados en la faja del Orinoco Colombiano [3] entre los campos de producción de Rubiales hasta Cusiana tienen la característica de que son altamente viscosos (con gravedad A.P.I. menor a 21°) [4].

Entonces el crudo con alta viscosidad extraído se se transporta sin diluir y esto ha perjudicado el funcionamiento de los equipos de bombeo en especial componentes como los sellos mecánicos [5]. Dado que por su alta viscosidad no son buenos agentes lubricantes para estos, forman

apelmazamientos y solidificación de crudo en los componentes.

Lo anterior genera fallas repetitivas en corto tiempo en los sistemas de reinyección, ocasionando paradas en equipos, producción paralizada, incremento de horas hombres en mantenimiento y consumo elevado de sellos mecánicos.

El plan de apoyo 65 [6] estandarizado en la norma A.P.I. 682 [7] es un conjunto de disposiciones de tipo mecánico que apoyan los sellos de las bombas. Este apoyo consiste en recoger las emisiones normales y las fugas por fallas catastróficas de fluido, a través de un reservorio en el cual se acumula, censa y direcciona la fuga a un drenaje seguro. En atención al cambio de las características del crudo mencionadas anteriormente, este plan se ha vuelto poco eficiente dado que el crudo no fluye a través de los drenajes. En los años 2016 y 2017 se presentaron eventos de falla en los sellos mecánicos y baja eficiencia del plan de apoyo 65 instalado en las bombas. Por lo que se decidió retirar los reservorios instalados pertenecientes al plan 65 y se pasó a realizar drenaje directo del sistema con frecuencia semanal. No obstante, con el aumento en la viscosidad de crudo este procedimiento se tornó más ineficiente y se ha incrementado la frecuencia de drenaje, comprometiendo la integridad de los activos y la disponibilidad de los sistemas de bombeo.

Para solucionar esta problemática de fallas repetitivas y prematuras de esos sellos mecánicos [6] se instaló una nueva tecnología de arreglo dual, que genera una cámara en el interior del sello. Este arreglo se respalda por un plan de apoyo 53B [6] igualmente estandarizado en la norma A.P.I. 682. Este es un plan que consiste en un circuito cerrado que contiene un líquido de barrera (aceite) [6] que circulara entre un reservorio y la cámara generada por el arreglo dual del nuevo sello mecánico. Este sistema debe ser presurizado para evitar que el crudo pase hacia las caras del sello y de esta manera se genera una mejor condición de lubricación con aceite limpio en lugar de hacerlo con un fluido sucio y pesado.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De manera específica el problema que se plantea es determinar si el cambio de tecnología de

sistema de sellado en las bombas de reinyección y el cambio de plan de apoyo del plan 65 a plan 53B, no afectan la dinámica del sistema de bombeo y del sistema de sellado. En primer lugar, si hay menos fugas y, en segundo lugar, si hay un bombeo más eficiente del crudo a pesar de su alta viscosidad. Lo anterior, genera la necesidad de realizar un monitoreo de condiciones operativas y de desempeño del sello mecánico y del plan de sellado.

### III. JUSTIFICACIÓN

Se justifica este proyecto dado que, en primer lugar, dentro de los controles de calidad que se hacen en la industria de petróleo y gas, se verifican que no existan condiciones anómalas después de realizar una intervención en una unidad. Tales condiciones pueden afectar la operación ininterrumpida de la misma en el corto, mediano y largo plazo y ocasionar paradas repetitivas, en este caso, en el bombeo. En segundo lugar, se aseguran menores emisiones o fugas al ambiente. Y en tercer lugar, a la fecha no existen datos o pruebas realizadas *in situ* en estos sistemas que permitan evaluar tanto el cambio de tecnología como el cambio de plan. Este estudio sería un acercamiento novedoso para este tipo de pruebas *in situ*.

### IV. OBJETIVOS

#### A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño de un sistema de sellado en un equipo de bombeo, utilizando las técnicas de monitoreo *de condición* de termografía y realidad de movimiento aumentado.

#### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el desempeño del sistema de sellado actual y el correspondiente sistema de sellado de apoyo (Plan 65) de un equipo de bombeo de reinyección, utilizando las técnicas de monitoreo *de condición* de termografía (Cámara termográfica Fluke TI 125 / 200) verificando estado de temperaturas y de realidad de movimiento aumentada (Montaje Iris M) verificando desplazamiento y vibraciones.

2. Definir el procedimiento de instalación del sistema de sellado de la nueva tecnología de sello mecánico en la bomba de reinyección con su plan de soporte (Plan 53B) y la ventana operacional o parámetros en condiciones normales del sistema de sellado mecánico.
3. Evaluar el desempeño del sistema de sellado con la nueva tecnología y el correspondiente sistema de apoyo (Plan 53B) del equipo de bombeo de reinyección evaluado inicialmente, utilizando las técnicas de monitoreo de condición de termografía (Cámara termográfica Fluke TI 125 / 200) verificando estado de temperaturas y de realidad de movimiento aumentada (Montaje Iris M) verificando desplazamiento y vibraciones leves.
4. Hacer el análisis de los datos obtenidos mediante técnicas de termografía (Cámara termográfica Fluke TI-125 / 200) y realidad de movimiento aumentada (Montaje Iris M) comparando tanto el desempeño del sistema de sellado como el plan de apoyo, antes y después de la implementación de la nueva tecnología.

### V. ALCANCE

Verificar las condiciones de operación por medio de tecnología de termografía y realidad aumentada de una bomba centrífuga después del cambio de tecnología del sistema de sellado mecánico y del plan de apoyo.

Verificar que el plan implementado asegura el buen funcionamiento del sello mecánico. El análisis no contempla realizar monitoreos convencionales de vibración u otras técnicas de condición como análisis de aceite, desempeño del motor, etc.

### VI. METODOLOGIA

Para llevar a cabo el proceso de cambio de sello mecánico sencillo con plan 65 a sello mecánico doble con plan 53B y el monitoreo de condición, con las tecnologías de termografía y realidad de

movimiento aumentado, se realizó lo siguiente:

1. Verificar las condiciones de operación de las tecnologías existentes con sello mecánico sencillo y plan 65.
2. Analizar la información obtenida con técnicas de monitoreo con termografía y realidad de movimiento aumentado al sistema de sello mecánico actual de la bomba.
3. Implementación de sistema de sello mecánico doble con plan 53B.
4. Ajustar el sistema de sello mecánico doble con plan 53B, para el correcto funcionamiento.
5. Implementación de las técnicas de monitoreo con termografía y realidad aumentada al nuevo sistema de sello mecánico de la bomba.
6. Analizar la información de la medición en el sistema con sello mecánico doble y plan 53B.
7. Comparar los análisis de la medición de los dos sistemas de sellado.
8. Realizar las distintas conclusiones correspondientes.

## VII. MARCO TEORICO

### A. BOMBA CENTRIFUGA

Las bombas centrífugas, también denominadas rotativas son muy utilizadas en las industrias petroquímicas. Estas tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el fluido, el fluido entra en la bomba cerca del motor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a mayor presión. El rotor también proporciona al fluido una velocidad relativamente alta, que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor. [8].

La bomba estudiada según la clasificación API 610, es una bomba tipo OH2, en la Figura 1 se muestra un esquema de perfil y una imagen con un corte seccional dejando ver sus componentes internos. El diseño en voladizo, simple etapa, montaje centrado. Tiene una caja de rodamiento simple para reducir todas las fuerzas impuestas sobre el eje manteniendo el rotor en su posición durante la operación. Estas bombas son instaladas

en una base y están conectadas por un acople flexible al elemento conductor. [9]

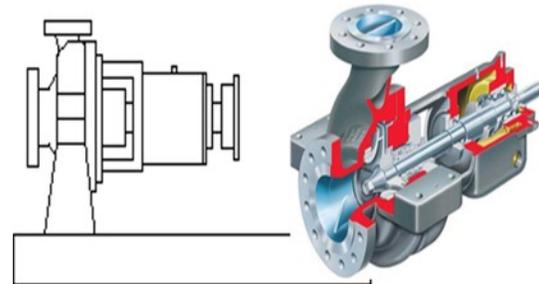


Figura 1. Izquierda esquema de perfil de bomba OH2. Derecha imagen tridimensional de bomba OH2 con corte de sección. [9].

### B. SELLO MECÁNICO

Se define como un dispositivo que previene el escape de un fluido de un recipiente, al cual atraviesa un eje rotativo.

Como se aprecia en la Figura 2 los componentes básicos de un sello mecánico son las caras hacen contacto perpendicular con el eje para crear un cierre axial. E igualmente se eliminan puntos de fuga con elementos de sellado primario y secundario. El cierre axial es ayudado por el fluido cuando está en operación y por los resortes cuando el equipo se encuentra sin presión hidráulica. [10].



Figura 2. Principio básico del sello mecánico, [10].

En la Figura 3, encontramos un sello mecánico sencillo en corte de sección ilustrando las caras rotativas, estacionaria y su operación sobre un eje.

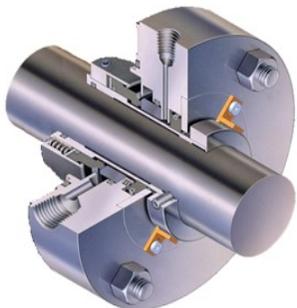


Figura 3. Corte de un sello mecánico sencillo, [11].

### C. PLAN DE SELLADO

Los sistemas de protección se utilizan para proveer al sello mecánico del ambiente apropiado facilitando la lubricación, para reducir el roce entre las caras y extrayendo el calor que se genera en ellas. [12].

Actualmente los planes se rigen por la norma API 682 cuarta edición, son aproximadamente veintiséis (26) y se agrupan de la siguiente manera:

- . Planes para aplicaciones de gas.
- . Planes auxiliares para sellos húmedos.
- . Planes para aplicaciones de gas.

[12].

Los planes de interés en el presente trabajo son: PLAN 65 y PLAN 53B.

#### 1. PLAN 53B

El plan de sellado 53B consiste en lo siguiente, hay circulación forzada por un anillo de bombeo, de líquido de barrera contenido en un circuito cerrado presurizado (ver Figura 4 y Figura 5). Un acumulador de vejiga provee y mantiene la presión en el sistema de circulación. El calor es removido por un intercambiador, enfriado por aire o agua

A continuación, en la Figura 4 se detallan las dimensiones a tener en cuenta en el acumulador del plan 53B, para no perder la eficiencia del sistema. [12]

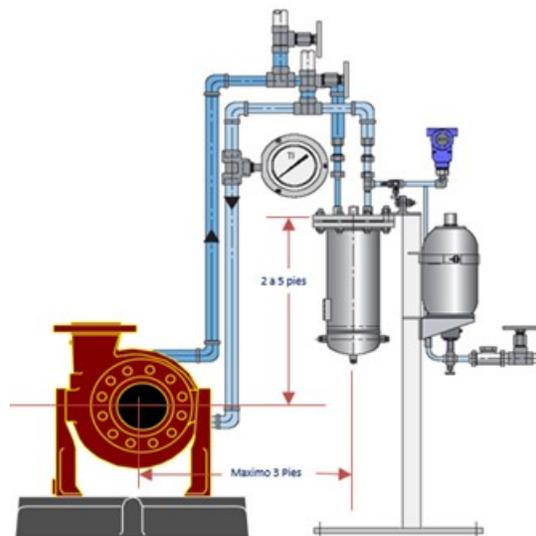


Figura 4. Esquema del plan 53B, consideraciones dimensionales, [13].

En la Figura 5, se encontrará un esquema de sentido de flujo del plan 53B mostrando, entrada y salida del sello mecánico al igual que entrada y salida del plan 53B.

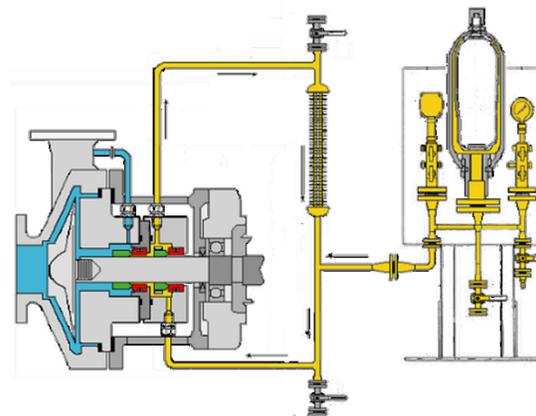


Figura 5. Plan 53B esquema de flujo y entrada y salida de los sistemas. [14]

#### 2. PLAN 65

El plan de sellado 65 consiste en un recolector de fugas en sellos sencillos, utilizado en aplicaciones donde la fuga del sello mecánico es en estado líquido. [12]. El esquema del mismo se encuentra en la Figura 6. Se observa que en el plan se recolecta y censa la fuga líquida, la cual sale del sello mecánico por medio de un drenaje.

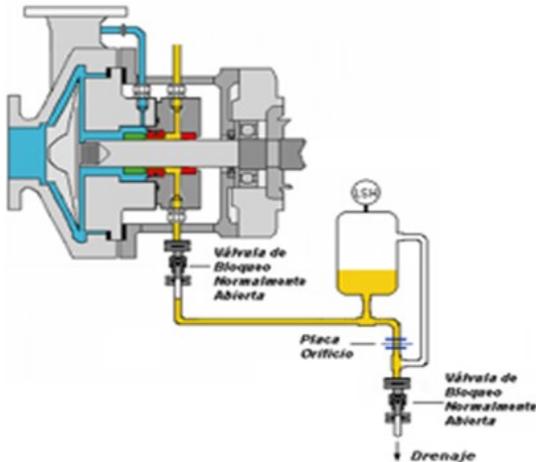


Figura 6. Esquema del Plan 65. [15].

#### D. VIBRACIONES

Una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud, todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual se plasman algunas de sus características. De acuerdo con esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se puede buscar información con referencia a cada uno de sus componentes relacionados con el movimiento, como son: rotores, ejes y cojinetes. Por tanto, la señal de vibración capturada de una máquina significa la suma vectorial de la vibración de cada uno de sus componentes. La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales, este tipo de ondas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es la cantidad de movimiento que puede tener una masa desde una posición neutral. La amplitud se mide generalmente en valores pico-pico para desplazamiento y valores cero-pico y RMS (Por su sigla en inglés Root Mean Square) para velocidad y aceleración. [16].

#### E. REALIDAD AUMENTADA

Motion Amplification® es una técnica que permite una visualización amplificada del movimiento.

La amplificación del movimiento es una técnica que procesa video y detecta movimientos sutiles y posteriormente los amplifica a un nivel visible al ojo humano, mejorando y aumentando el entendimiento del movimiento de componentes y

su interrelación con estructuras, creando una herramienta de detección para personas de interés con o sin competencias en la técnica.

Es una técnica que mide y cuantifica activos rotativos o estructuras con la misma exactitud que un sensor de desplazamiento de contacto. La técnica permite filtrar espectros y visualizar el movimiento a determinadas frecuencias para encontrar posibles causas a problemas y así orientar al grupo de mantenimiento a planear y ejecutar adecuadamente la tarea.

La tecnología Motion Amplification® no requiere contacto alguno con las estructuras o máquinas y las capturas se realizan a una distancia prudente de los equipos, minimizando el riesgo de accidentes en los trabajos. [17].

Las características descritas en los párrafos anteriores las encontramos resumidas en los iconos de la Figura 7.

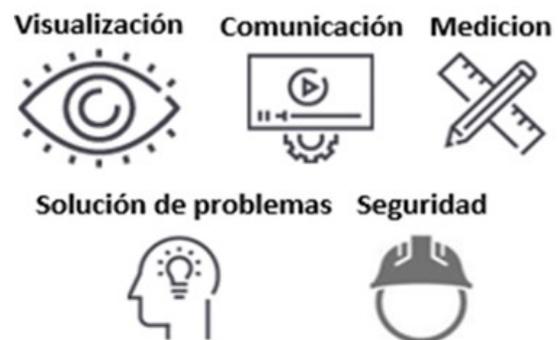


Figura 7. Características de la tecnología RDI, [17].

#### F. TERMOGRAFIA

La termografía es un procedimiento que mide la radiación infrarroja (con longitud de onda entre 780 – 1000000 nanómetros ( $1\text{ mm}$ )) [18] que emite un objeto o un cuerpo y de esta forma determinar su temperatura. Esta radiación no es visible al ojo humano. La técnica es una forma de medición sin contacto. Con la ayuda de la termografía se pueden registrar y esquematizar mediciones de temperatura sobre áreas o puntos.

Gracias a la termografía se puede originar una idea exacta sobre posibles pérdidas térmicas o determinar fuentes de calor, típicas de presuntas anomalías. Un factor esencial para la termografía es el grado de emisión del objeto a investigar. [19].

En la Figura 8 se ilustra el espectro electromagnético mostrando la longitud de onda, frecuencia y temperatura, a la vez se puede ubicar el rango de los rayos infrarrojos.

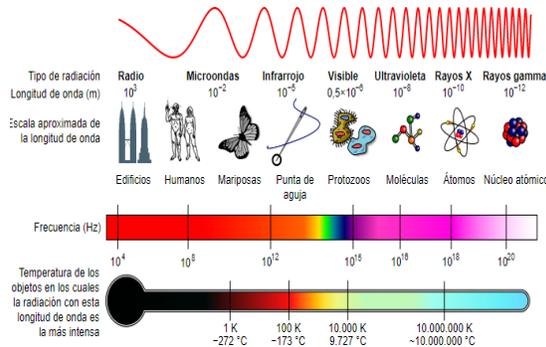


Figura 8. Espectro electromagnético que relaciona longitud de onda, frecuencia y temperatura. [20]

## VII. MATERIALES, HERRAMIENTAS Y PROCEDIMIENTO

### A. MATERIALES:

1. Sellos mecánicos.
2. Plan 53B (Incluye Manómetro, termómetro, intercambiador de calor por aire y vejiga de presurización).
3. Accesorios de *tubing*.
4. *Tubing*.

### B. HERRAMIENTAS:

La toma de medición para los análisis del estudio y verificación de las condiciones se efectuaron utilizando las siguientes herramientas:

1. Cámara termografía FLUKE TI 200: que permite visualizar cada uno de los elementos que componen el sistema de sellado, la distribución de calor y flujos en el sistema. SmartView 2.0. [21]  
Principales especificaciones técnicas detalladas:
  - Rango amplio de medición de temperatura, -20 °C a +650 °C.
  - Exactitud,  $\pm 2$  °C o 2 % (el que sea mayor) a 25 °C de temperatura ambiente.
  - Sensibilidad térmica,  $\leq 0,075$  °C a 30 °C de temperatura del blanco (75 mK).
  - Banda espectral infrarroja, 7,5  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$  (onda larga).

- Corrección de emisividad ( $\epsilon$ ) para que la cámara pueda realizar cálculos acertados de las mediciones de temperatura y no se vea afectada por las temperaturas aparentes que detecta la cámara. [22].

2. La cámara IRIS M con Motion Amplification® detecta movimientos sutiles y los amplifica para que sean visibles al ojo humano, logrando procesar y analizar información para resolver problemas críticos en equipos. La tabla 1 especifica los pormenores de las características técnicas detalladas de la cámara usada.

Motion Amplification	
Available Lenses*	6mm, 12mm, 25mm, 50mm, 100mm
Acquisition System	i7 processor, 16GB RAM, 500GB SSD, dual batteries, lightweight, MIL-STD-810G standard drop protection, 3 yr accidental damage protection*
Sample Rate	120/100 fps default, up to 1,300 fps at reduced resolution
Frequency Range	US: Up to 3,600 rpm @ 120 fps default Int: Up to 3,000 rpm @ 100 fps default Maximum: 39,000 rpm @ 1,300 fps with reduced resolution
Minimum Displacement	0.1 mil (2.5 $\mu\text{m}$ ) at 3.3 ft (1m) with 50mm lens at max brightness
Motion Amplification Factor	1-50x
Vibration Pads	95% impulse absorption
Tripod	Professional Grade with pistol grip
Case	Waterflight, dustproof, crushproof
USB3 Cable Length	9.84 ft. (3 m)
Optional Accessory Kit	LED light: 14,000 Lux @ 1 m, Li-Ion light battery, light stand, extra vibration pads, computer stand

Tabla 1. Especificaciones técnicas Iris M [23].

La tecnología IRIS M no busca reemplazar el monitoreo por vibración (online) o las rondas periódicas que se realizan en las plantas como parte de un programa de mantenimiento predictivo o basado en condición. La tecnología IRIS M es un complemento a este tipo de monitoreos. [17].

### C. PROCEDIMIENTO PARA EL CAMBIO DEL CAMBIO DEL SELLO MECANICO E INSTALACION DEL PLAN 53B.

Para la actividad de evaluación del desempeño del sistema de sellado se realizó la toma de medición en una bomba OH2, antes y después del cambio del sistema de sellado, el inicial se compone de los siguientes componentes: un sello mecánico

cartucho sencillo R33 de 70 mm de diámetro (Ver Anexo A) con plan 65, este plan deshabilitado por su ineficiencia. Los nuevos compones son: un sello cartucho doble R33RP / R33 de 70 mm (Ver anexo C) con plan API 53B. Los dos sistemas funcionan bajo las mismas condiciones de operación como presión de succión, presión de descarga, producto, temperatura y RPM (Revoluciones por minuto).

Para seguir con el desarrollo de la actividad es necesario proceder con el desarme de la bomba y realizar verificación de metrología (Ver anexo E) tal como se muestra en las Figura 9 y Figura 10 respectivamente, para luego realizar la instalación del sello mecánico nuevo y posteriormente ubicar la bomba en su sitio.



Figura 9. Desmonte de bomba OH2 para cambio de sello mecánico.



Figura 10. Cambio de sello mecánico en la bomba OH2.

Se retiró el sistema de plan API anterior y se procede a instalar en la base civil de la bomba el plan API 53B y conectar con tubing la salida del plan 53B a la entrada del sello mecánico. Y desde la salida del sello mecánico a la entrada del plan 53B, como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Instalación del plan 53B.

Para la instalación del plan 53B se elaboró el esquema de la Figura 12, teniendo en cuenta las especificaciones dimensionales de la Figura 4, para no afectar la eficiencia del anillo de bombeo y la circulación del líquido de barrera (aceite) dentro del sistema, para este esquema también se apoyó en las dimensiones del plano del plan 53B que se encuentra en el anexo D.

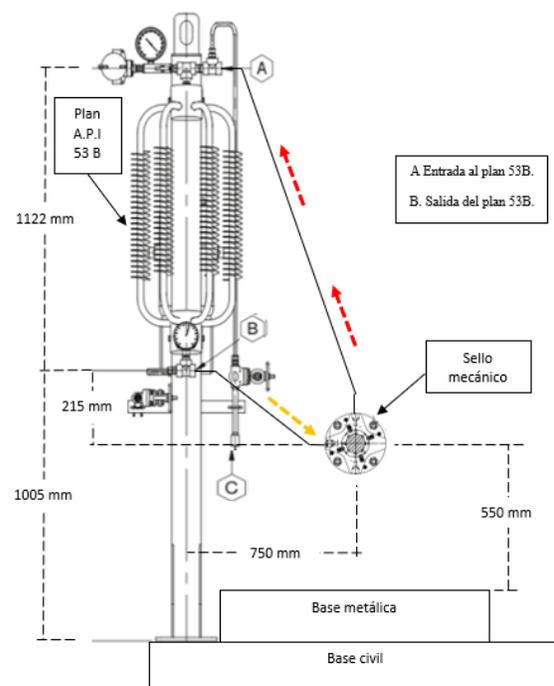


Figura 12. Diagrama de conexión y dimensiones para la instalación del plan 53B. (Ver anexo D).

#### D. AJUSTES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Una vez ejecutada la actividad de mecánica (desarme, ensamble e instalación), se preparó el equipo para asegurar la puesta en marcha y funcionamiento del sistema, y luego se procedió a realizar la toma de medición. Para esto se debió a realizar lo siguiente:

##### 1. ACTIVIDADES PRELIMINARES

- Asegurar que el líquido de barrera sea el indicado por el fabricante.
- Asegurar que el gas de presurización sea el indicado por el fabricante.
- Drenar el sistema para asegurar que no contenga fluido diferente al requerido y/o obstrucciones.
- Asegurarse que la instrumentación se encuentre instalada y conectada (switch de presión, manómetro y termómetro).

##### 2. LLENADO Y PRESURIZADO DEL EQUIPO

- Conectar la bala de Nitrógeno a la entrada de la vejiga del plan 53B.
- Precargar la vejiga del plan 53B con el 25% de la presión final del sistema.
- Abrir la válvula de llenado de líquido de barrera (aceite) del plan 53B.
- Conectar la manguera del carro de llenado a la entrada del plan 53B.
- Drenar el plan 53B.
- Abrir las válvulas de manómetros y transmisores de presión para ventear.
- Abrir la válvula del punto más alto del sistema.
- Llenar el sistema hasta que salga líquido de barrera (aceite) por las válvulas abiertas.
- Cerrar las válvulas del manómetro, transmisor de presión y el punto de venteo.
- Presurizar la vejiga del plan 53B a un 80 % de la presión final del sistema.
- Llenar con líquido de barrera (aceite) hasta alcanzar la presión final del sistema.
- Cerrar la válvula de llenado de líquido de barrera (aceite) del plan 53B.
- Esperar 10 minutos aproximadamente, para detectar alguna caída de presión en el sistema.
- Desconectar la manguera del carro de llenado.

- Configurar el set point de los switch de presión del sistema de sellado mecánico. (Ver anexo F).

El llenado del sistema de sellado realizó a una proporción final de 80% de nitrógeno y 20% de aceite. El llenado de nitrógeno y aceite al igual que el *set point* de alarmas debió realizarse de acuerdo con la tabla 2.

PRESIONES ACTUALES		Presión Estimada de Caja de sellado	Presión de Barrera Calculada	Precarga de la vejiga	Carga de la vejiga	Carga de aceite	Alarma baja psi (Bajando)	Alarma alta-baja psi (Bajando)	Alarma shutdown psi (Bajando)
SUCCION (PSIG)	DESCARGA (PSIG)	psi	psi	psi	psi	psi			
0	50	7.5	37.5	9	30	7.5	13	17.5	23

Tabla 2. Presiones de llenado y set point de alarmas.

Finalmente se pone en marcha el sistema.

##### 3. PUESTA EN MARCHA

- Verificar que no se presenten fugas en el sistema de sellado API 53B y sello mecánico antes del arranque.
- Colocar en funcionamiento por unos minutos el equipo de bombeo. (no operar en recirculación).
- Verificar la temperatura del sello mecánico.
- Verificar las temperaturas líneas de entrada y salida del sello mecánico.
- La temperatura de la línea de entrada a la temperatura de la línea de salida del sello mecánico.

## VIII. RESULTADOS

### A. INSPECCION VISUAL DEL SISTEMA DESMONTADO.

Se realiza el desarme de la bomba, para hacer el cambio de sello mecanico actual por el modelo nuevo. Para después someter a inspección y evaluación el sello desmontado. Se observó en la parte externa acumulación de crudo en fuga, se encontró en el interior del componente de sellado crudo solidificado dentro de los elementos internos como se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Inspección de sello mecánico. Izquierda, sello mecánico con evidencia de fuga. Derecha, componentes internos con material solidificado.

### B. REALIDAD DE MOVIMIENTO AUMENTADA. INSPECCION Y ANÁLISIS DE FRECUENCIA / FASE.

Se realizó la toma de medición con la cámara IRIS M de realidad aumentada en los sistemas de bombeo, antes y después de cambio de sello mecánico y planes de sellado.

No se evidenciaron movimientos mecánicos en el sistema inicial (API 65). De igual forma se realizó medición en el equipo de bombeo luego de realizarse el cambio de sello mecánico y plan de sellado (API 53B), donde tampoco se evidenciaron condiciones anómalas en el equipo de bombeo y el sello mecánico. Sin embargo, si se identificaron movimientos estructurales de forma vertical en el plan 53B como se señala en la Figura 14. Ver detalle en el video del ANEXO A VER VIDEO EN EL ENLACE.

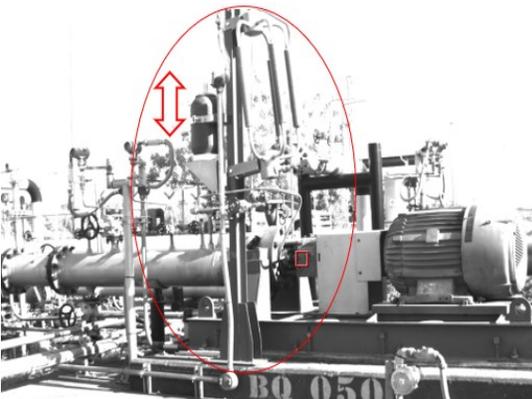


Figura 14. Plan 53B en medición por realidad de movimiento aumentada.

En la Figura 15 se observa que el movimiento vertical es ocasionado por dos frecuencias con

diferentes amplitudes 140 Ciclos por Minuto y 240 Ciclos por Minuto.

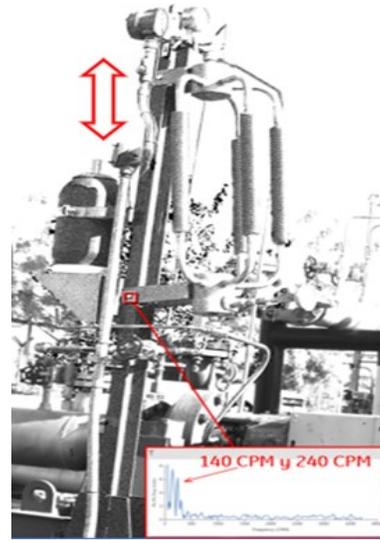


Figura 15. Plan 53B en medición por realidad de movimiento aumentada detallando las frecuencias pico de vibración.

El análisis de fase mostrado en la Figura 19, realizado por medio de la técnica de realidad aumentada evidencia que cuando está instalado el plan API 65 (Ver Figura 16), el sello mecánico y la voluta de la bomba se mueven a la misma amplitud y frecuencia a lo largo de la medición tanto en el eje X como en el eje Y, incluso después de haber instalado el plan 53B (Ver Figura 18).



Figura 16. ROI del plan 65 (Antes).

El espectro de vibración mostrado en la Figura 17 se observa un levantamiento espectral de baja frecuencia definido principalmente por dos frecuencias que son 240 y 140 CPM. Estas frecuencias tienen una amplitud máxima de 8 mils pico - pico en el plano vertical, el cual se considera dentro de la ventana operativa definida en la Tabla 3.

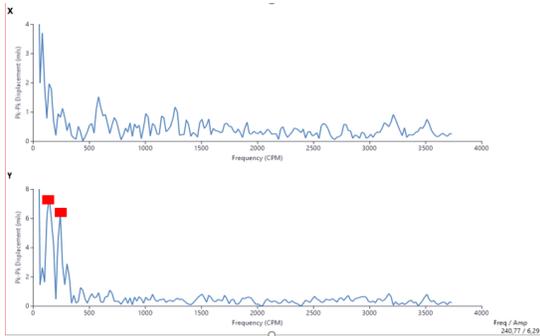


Figura 17. Espectro de vibración plan 65 y sello sencillo.

Lo anterior, está asociado a un movimiento sincrónico de los dos componentes, sin reflejar un comportamiento subestándar del sistema que incluso se encuentra dentro de ventana operativa, con un valor de vibración menor a 3 milésimas de pulgada – pico pico @ 140 ciclos por minutos, como lo indica la tabla 3. Esto, cumpliendo con los requerimientos de la norma ISO 10816-1 dentro de un rango (Maquinas clase II) permisible para operar.

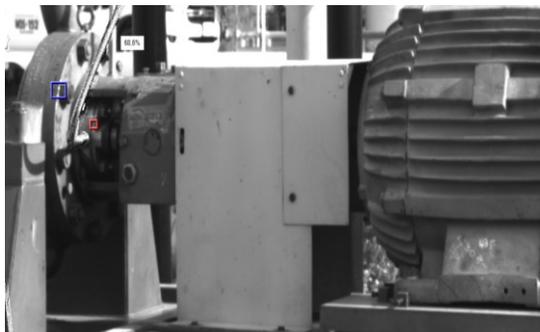


Figura 18. Puntos de análisis (ROI azul y ROI rojo) técnica realidad aumentada Plan 53B.

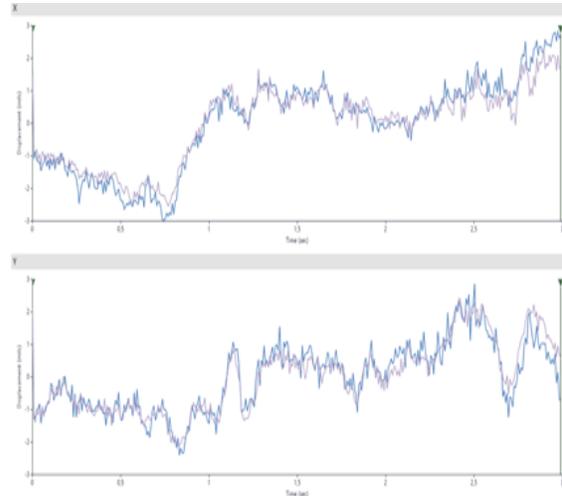


Figura 19. Comparación de fase (Sistema sello sencillo y plan 65) entre los puntos azules y rojos durante la medición (3 segundos).

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes			
mm/s RMS	in/s Peak	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02				
0.45	0.03	Good			
0.71	0.04		Good	Good	Good
1.12	0.06	Satisfactory			
1.80	0.10		Satisfactory		
2.80	0.16	Unsatisfactory (alert)		Satisfactory	
4.50	0.25		Unsatisfactory (alert)		Satisfactory
7.10	0.40			Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
11.20	0.62	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
18.00	1.00				
28.00	1.56				
45.00	2.51				

Tabla 3. Severidad de vibración para maquinas generales ISO 10816-1 (ISO- International-of- Estandarización, 1995:2009).

Al realizar la comparación del análisis de fase después de realizado el cambio de plan 65 por plan 53 B se observa que entre el ROI (por su sigla en inglés de Region of interest) azul y el ROI rojo hay un movimiento en fase, es decir, que se mueven en la misma dirección a medida que pasa el tiempo, esto se puede observar en la Figura 20.

De igual forma, la amplitud medida, se encuentra dentro de ventana operativa, según ISO 10816-1 mostrados en la tabla 3.

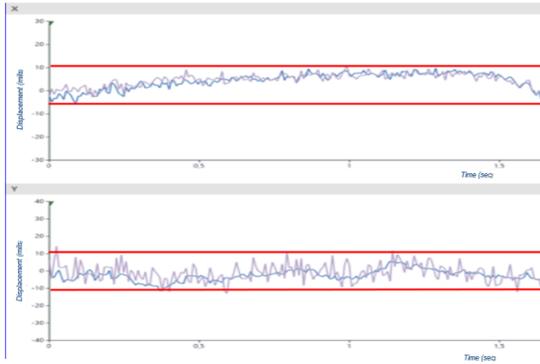


Figura 20. Comparación de fase (Después) entre los puntos azules y rojos durante la medición.

Durante la medición de realidad aumentada, se evidencio que existe un antinodo (Punto de máxima vibración) [24] en la tubería del plan 53 B que se conecta al sello mecánico, en la conexión de entrada a este, este antinodo o punto de máxima vibración se señala en la Figura 21. Esta condición se asocia a un movimiento libre con grado de libertad en el eje “Y” que no está siendo controlado debido a la forma modal de operación (Adquisición de espectros de vibración, multitud de puntos en la estructura de la máquina con una o varias referencias de fase fijas. El movimiento relativo entre ellos describirá los patrones de deformación presentes en operación) [25] que toma el sistema.



Figura 21. Ubicación de punto de máxima vibración en el plan 53B.

### C. TERMOGRAFIA. INSPECCIÓN DE PLANES.

En el sistema inicial formado por un sello mecánico sencillo R33 con plan 65 (En el anexo B se encuentran detalles del sello) se puede apreciar que la tubería del plan 65 presenta una baja

temperatura igual 100,7 °F (temperatura ambiente) ver Figura 22, por lo que se puede deducir que se está presentando una obstrucción. Ya que esta tubería debería presentar fluido y gases generados por la fuga normal o en su defecto falla del sello mecánico y entonces tendría una temperatura de 157,4 °F.

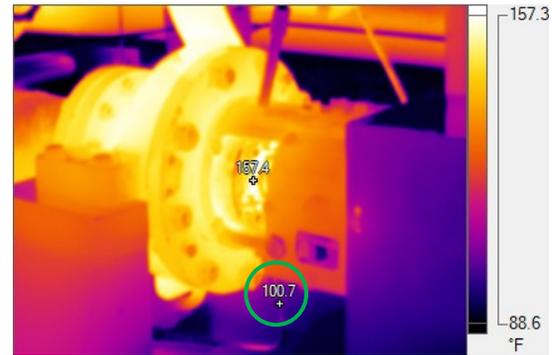


Figura 22. Termografía del sello mecánico y plan 53B.

Esta obstrucción provoca que el material proveniente de la fuga se solidifique generando bloqueo en los componentes internos del sello mecánico. La fuga normal antes de solidificarse también llena los espacios internos y busca la forma de salir del sello venciendo el buje de restricción generando fugas hacia la atmosfera, tal como se evidencio en la inspección del sello mecánico.

En el nuevo plan de sellado 53B según lo visto en las Figura 23 y Figura 24, se observa una circulación correcta del líquido de barrera, lo cual se confirma en el diferencial de temperatura de las líneas de conexionado del sistema. Se evidencia el cambio de temperatura, entrando de menor temperatura (Circulo verde Figura 23) al sello y retornando a mayor temperatura al plan 53B (Circulo azul Figura 24), por lo que se está produciendo una circulación de aceite en el circuito cerrado del sistema de sellado.



Figura 23. Termografía salida plan 53B - Entrada de sello mecánico.

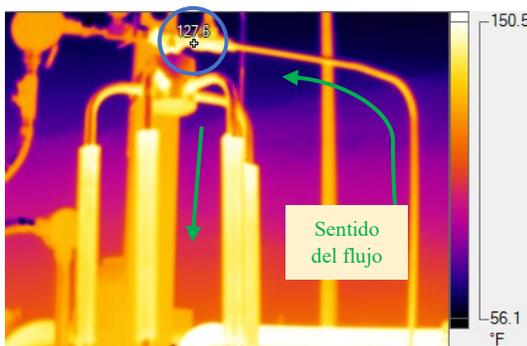


Figura 24. Termografía entrada plan 53B.

DATOS OPERACIONALES				MEDICION DE TEMPERATURAS			
Presion de succion (PSI)	Presion de descarga (PSI)	RPM	API	Temperatura del proceso (°F)	Temperatura del sello mecanico (°F)	Temperatura salida del plan 53B (°F)	Temperatura entrada al plan 53B (°F)
0	50	1800	10	144,9	127,9	123,8	127,6

Tabla 4. Datos de temperatura del sello doble con plan 53B.

## IX. CONCLUSIONES

Se evaluó el desempeño del sistema de sellado del antiguo Plan 65, utilizando la técnica de monitoreo *de condición* de termografía, verificando estado de temperaturas. Se encontró en el drenaje que la temperatura a la entrada y a la salida de este era ambiente, lo que muestra que se encontraba obstruido. La obstrucción se presentó ya que la fuga normal, al pasar por las caras del sello mecánico se decanta y se solidifica generando el taponamiento y este a su vez llena los espacios internos hasta salir al ambiente en forma de fuga no controlada.

La inspección visual inicial después de desmontado el plan 65, mostró en la parte externa acumulación de crudo en fuga, también se

encontró en el interior del componente de sellado crudo solidificado dentro de los elementos internos.

En cuanto al plan 53B analizado por la técnica de monitoreo *de condición* por termografía se encontró que el sello mecánico R33RP/R33, al ser un sello doble proporciona una cavidad para albergar un producto limpio, el cual de acuerdo con las termografías se encontró que circulaba adecuadamente, mostrando la diferencia de temperaturas entre las tuberías de conexión del sistema de sellado, salida a menor temperatura y entrada a mayor temperatura.

Adicional a lo anterior, el plan proporciona un líquido que lubrica y a la vez lo presuriza, generando una barrera física que evita que el fluido bombeado tenga contacto con el sello mecánico. En la evaluación con termografía no se aprecia fugas de aceite en el exterior del sello mecánico, que produzcan caída de presión del sistema, lo que evidencia un buen funcionamiento del plan 53B y el sello mecánico.

En cuanto a las mediciones con realidad de movimiento aumentada con el plan 53B, se observó que la condición mecánica está dentro de parámetros confiables de operación y no se está afectando la integridad del activo.

Por otro lado, el análisis de frecuencia mostró un movimiento subestándar que requiere atención por parte del grupo de mantenimiento e ingeniería, con el fin de minimizar el grado de libertad observado en el video de *motion amplification* que puede generar una fatiga impredecible en la conexión del sistema y generar un derrame de líquido barrera a la atmosfera.

El cambio de plan 65 a plan 53 B no representa un riesgo para la integridad de la bomba y el proceso, las vibraciones medidas durante la etapa de comisionamiento del sistema reflejan valores de vibración aceptables según criterio internacionales.

Según lo que se observó en la Figura 17 y Figura 18 se concluye; que la vibración presentada en la maquina existía antes de implementar la actualización y por ende las condiciones del sistema no fueron modificadas

Los procedimientos que se definieron para la instalación del nuevo sistema de sellado, el plan de apoyo 53B con posterior operación de estos

fueron ejecutados con éxito. No se presentaron dificultades durante la instalación, la planeación y la programación de recursos fue clave para la consecución de los objetivos en el tiempo requerido.

#### X. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar instalación de soporte y/o pie de amigo en la conexión del plan 53B en la entrada del sello mecánico, con el propósito de aumentar la rigidez y así cambiar la frecuencia natural, así mismo modificando la forma del movimiento que aumenta el antinodo y evitar que se pueda fracturar después de alcanzar un número de ciclos (vida útil).

Se debe realizar rutinas de inspección al fluido de barrera y presión del plan 53B, para realizar reposición de nitrógeno y aceite según sea su consumo, para lo cual se debe considerar los valores de la Tabla 2. Presiones de llenado y set point de alarmas.

Es conveniente incluir en la rutina de mantenimiento en el sistema de sellado, monitorear con termografía el funcionamiento adecuado del plan 53B y el sello mecánico. Verificando las temperaturas de las líneas de entrada y salida del sello mecánico.

En el monitoreo se debe asumir como base, la medición que se tomó, la cual se adquirió bajo unos parámetros operativos, y se obtuvieron los siguientes datos de temperatura mostrados en la Tabla 4. Datos de temperatura del sello doble con plan 53B.

Para el monitoreo y seguimiento de vibraciones se debe considerar los valores de la Tabla 3. Severidad de vibración para maquinas generales ISO 10816-1 (ISO- International-of- Estandarización, 1995:2009).

Se debe realizar rutinas de inspección al fluido de barrera y presión del plan 53B, para realizar

reposición de nitrógeno y aceite según sea su consumo, para lo cual se debe considerar los valores de la siguiente tabla.

#### XI. DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza y sabiduría en momentos difíciles. A mis padres, quienes me han aconsejado y escuchado incansablemente. A mis hijos por ser motivo de inspiración. A mi hermana, por ser esa persona que compartió su conocimiento en momentos difíciles.

#### XII. AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Daniel Ballesteros, por haber compartido su conocimiento de una manera desinteresada, en materia de las vibraciones y realidad aumentada, y desde ahí aprender y aclarar dudas sobre la técnica. Y al excelente grupo de docentes quienes en toda la carrera inculcaron en mí, las bases para iniciar un aprendizaje autónomo.

## XIII. BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Tiempo, «Mayo, el segundo mes del año con la mayor producción de petróleo.,» 25. Junio. 2019..
- [2] Artículos tecnicos, « Procesos de separacion y tranformacion del petroleo.,» 14. Junio. 2009.. [En línea]. Available: <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2009/06/los-procesos-de-separacion-y.html>.
- [3] Revista Venezolana de economia y ciencias sociales, «La valorizacion del crudo extrapesado de la faja petrolifera del Orinoco.,» Mayo. 2004.. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/177/17710203.pdf>.
- [4] Revista Semana, «Colombia se adaptó al mercado de los crudos pesados.,» 14 11 2018..
- [5] John Crane, «Teoria Basica de Sellos Mecanicos.,» 31. Agosto. 2019.. [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/doc/186329811/Teoria-Basica-de-Sellos-Mecanicos>.
- [6] John Crane, «Teoria Basica de Sistemas de Lubricación y Enfriamiento (PLANES API).,» 31. Agosto. 2019.. [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/doc/97308841/Teoria-Basica-de-Sistemas-de-Lubricacion-y-Enfriamiento-PLANES-API-nuevo-def>.
- [7] American Petroleum Institute, «API Standard 682ISO 21049.,» Semptiembre. 2004.. [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/8797242/API\\_Standard\\_682\\_ISO\\_21049](https://www.academia.edu/8797242/API_Standard_682_ISO_21049).
- [8] H. A. H. Valvuela, «Actualizacion de inventiros para sellos JohnCrane en sistemas de bombeo de la refineria de Ecopetrol en Barrancabermeja.,» 2013.. [En línea]. Available: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1230/digital\\_20846.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1230/digital_20846.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [9] John Crane, «Curso de bombas centrifugas.,» Bogotá., 2019..
- [10] John Crane, «Curso basico de sellos mecanicos.,» Bogotá., 2016..
- [11] John Crane, «Curso dispositivo de sellado.,» Bogota., 2019..
- [12] John Crane, «Teoria basica de sistemas de lubricacion y enfriamiento.,» Bogotá., 2019..
- [13] John Crane, «Curso operacion mantenimiento planes API.,» Bogotá., 2019..
- [14] John Crane, «Curso teoria basica de sistema de lubricacion.,» Bogotá., 2019..
- [15] John Crane, «Teoria basica de sistemas de sellado.,» Bogotá..
- [16] UAN, «Clasificación automática de patrones de vibración mecánica en máquinas rotativas.,» 30. 03. 2020.. [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/document/389956989/Articulo-Tesis>.
- [17] RDI Technologies, «RDI Technologies.,» 2019.. [En línea]. Available: <https://www.rdi technologies.com/iris-m-2/>.
- [18] C. Simoes, «astronoo El universo en todos sus estados.,» 1997.. [En línea]. Available:

- <http://www.astronoo.com/es/articulos/espectro-electromagnetico.html>.
- [19] B. M. Carmona, «Manual de procedimiento termografico.,» 27. Febrero. 2013.. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/rocasatre/manual-de-procedimiento-termografico>.
- [20] J. J. C. y. S. M. Ransom, «Espectro Electromagnetico.,» [En línea]. Available: <https://www.cv.nrao.edu/course/astr534/Pulsars.html>.
- [21] Roberto Poyato departamento tecnico Fluke Iberica, «Termografia en sistemas de distribucion electrica.».
- [22] FLUKE, «Manual de uso.,» Septiembre. 2013.. [En línea]. Available: <http://www.finaltest.com.mx/v/vspfiles/assets/datasheet/Ti200-300-400.pdf>.
- [23] RDI\_Technologies, «Iris M Specification Sheet.,» Knoxville., 2018..
- [24] D. R. Nave, «Ondas estacionarias.,» Agosto. 2000.. [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Waves/standw.html>.
- [25] Preditec grupo Alava, «La importancia del detalle en el análisis de formas modales en operación (ODS).,» 2020.. [En línea]. Available: <http://www.preditec.com/notas-tecnicas/tecnicas-predictivas/la-importancia-del-detalle-en-el-analisis-de-formas-modales-en-operacion-ods/>.
- [26] ISO\_International\_Organization\_of\_Standarization, «ISO 10816-1 Mechanical Vibrations- Evaluation of machine vibration by measurement on non rotating parts,» Geneve, 1995:2009.
- [27] M. Nava, «Tipos de petróleo crudo según grado API (liviano a extrapesado).,» 5. Marzo. 2014.. [En línea]. Available: <https://www.venologia.com/archivos/9589/>.

## XIV. TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Izquierda esquema de perfil de bomba OH2. Derecha imagen tridimensional de bomba OH2 con corte de sección. [9].	4
Figura 2. Principio básico del sello mecánico, [10].	4
Figura 3. Corte de un sello mecánico sencillo, [11].	5
Figura 4. Esquema del plan 53B, consideraciones dimensionales, [13].	5
Figura 5. Plan 53B esquema de flujo y entrada y salida de los sistemas. [14]	5
Figura 6. Esquema del Plan 65. [15].	6
Figura 7. Características de la tecnología RDI, [17].	6
Figura 8. Espectro electromagnético que relaciona longitud de onda, frecuencia y temperatura. [20]	7
Figura 9. Desmonte de bomba OH2 para cambio de sello mecánico.	8
Figura 10. Cambio de sello mecánico en la bomba OH2.	8
Figura 11. Instalación del plan 53B.	8
Figura 12. Diagrama de conexión y dimensiones para la instalación del plan 53B. (Ver anexo D).	8
Figura 13. Inspección de sello mecánico. Izquierda, sello mecánico con evidencia de fuga. Derecha, componentes internos con material solidificado.	10
Figura 14. Plan 53B en medición por realidad de movimiento aumentada.	10
Figura 15. Plan 53B en medición por realidad de movimiento aumentada detallando las frecuencias pico de vibración.	10
Figura 16. ROI del plan 65 (Antes).	10
Figura 17. Espectro de vibración plan 65 y sello sencillo.	11
Figura 18. Puntos de análisis (ROI azul y ROI rojo) técnica realidad aumentada Plan 53B.	11
Figura 19. Comparación de fase (Sistema sello sencillo y plan 65) entre los puntos azules y rojos durante la medición (3 segundos).	11
Figura 20. Comparación de fase (Después) entre los puntos azules y rojos durante la medición (3 segundos).	12
Figura 21. Ubicación de punto de máxima vibración en el plan 53B.	12
Figura 22. Termografía del sello mecánico y plan 53B.	12
Figura 23. Termografía salida plan 53B - Entrada de sello mecánico.	13
Figura 24. Termografía entrada plan 53B.	13

## XV. TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas Iris M [23].	7
Tabla 2. Presiones de llenado y set point de alarmas.	9
Tabla 3. Severidad de vibración para maquinas generales ISO 10816-1 (ISO- International-of- Estandarización, 1995:2009).	11
Tabla 4. Datos de temperatura del sello doble con plan 53B.	13

XVI. ANEXOS.  
A. ANEXO A VER VIDEO EN EL ENLACE

<https://www.youtube.com/watch?v=mp3C9LEV1D4&feature=youtu.be>







E. ANEXO E. PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DEL SELLO MECANICO Y PLAN 53B

**PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DE SELLO  
MECANICO Y PLAN 53B**

**CONTENIDO**

1.	<b>INTRODUCCION</b> .....	3
2.	<b>OBJETIVO</b> .....	3
3.	<b>ALCANCE</b> .....	3
4.	<b>ACTIVIDADES PRELIMINARES</b> .....	3
5.	<b>VERIFICACION DE ALINAMIENTO</b> .....	3
6.	<b>DESARME DE LA BOMBA</b> .....	3
7.	<b>RETIRO DE SELLO MECANICO</b> .....	3
8.	<b>METROLOGIA DE LA BOMBA (John Crane)</b> .....	3
9.	<b>INSTALACION DEL SELLO MECANICO</b> .....	5
10.	<b>ARMADO DE LA BOMBA</b> .....	5
11.	<b>ASEGURAMIENTO DEL SELLO MECANICO</b> .....	5
12.	<b>INSTALACION DEL PLAN 53B Y CONEXIONES AL SELLO MECANICO</b> .....	5

---

---

## 1. INTRODUCCION

Debido a las múltiples fallas prematuras en los sellos mecánicos de las bombas de reinyección se procederá a realizar la actualización de los sellos mecánicos y planes API, pasando de sellos sencillos tipo R33 y planes 11/65 a sellos mecánicos dobles R33RP/R33 y plan 53B.

## 2. OBJETIVO

Establecer el procedimiento mediante el cual se ejecutará el cambio de sello mecánico y la instalación de un plan 53B en una bomba tipo OH2 utilizada en el proceso de reinyección de oleoducto.

## 3. ALCANCE

El trabajo contempla el desmonte de los sellos mecánicos, toma de metrología de la bomba e instalación del sello mecánico, montaje de plan A.P.I 53 B conectado al sello mecánico de la bomba de reinyección

## 4. ACTIVIDADES PRELIMINARES

- 4.1. Elaboración y trámite de permiso de trabajo y documentos de apoyo.
- 4.2. Divulgar el procedimiento y ART a todo el personal involucrado.
- 4.3. Coordinación con el personal de operaciones el inicio de labores.
- 4.4. Asegurar y demarcar el sitio de trabajo.
- 4.5. Verificar que el equipo a intervenir se encuentre aislado, drenado y bloqueado por parte del personal de la planta.
  - 4.5.1. Verificar bloqueo de válvulas de succión y descarga.
  - 4.5.2. Verificar el venteo y drenaje del equipo.
  - 4.5.3. Verificar el bloque de fuente eléctrica.
  - 4.5.4. Instalar bloqueos y tarjeteos según lo indique operaciones.
- 4.6. Alistamiento y traslado de herramientas y materiales al sitio de trabajo.

## 5. VERIFICACION DE ALINAMIENTO

- 5.1. Revisar la condición de alineación del sistema de bombeo, antes de iniciar las labores de intervención.

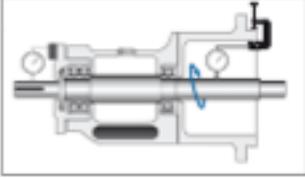
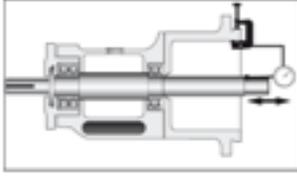
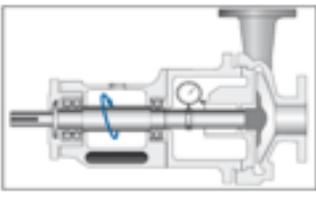
## 6. DESARME DE LA BOMBA

- 6.1. Se retira la caja de rodamiento de la voluta.
- 6.2. Se retira la tapa de la cámara del sello mecánico.

## 7. RETIRO DE SELLO MECANICO

- 7.1. Colocar los espaciadores entre el collar de arrastre y la brida.
- 7.2. Soltar los prisioneros del collar de arrastre.
- 7.3. Soltar las tuercas que aseguran la brida del sello mecánico a la bomba.
- 7.4. Deslizar el sello mecánico por el eje y retirarlo de la bomba.

## 8. METROLOGIA DE LA BOMBA (John Crane)

<p>8.1. Revisar el run-out, esta verificación se realiza lo más cercano a la ubicación del sello, la lectura total del indicador (TIR) no debe exceder 0,005".</p>	 <p><i>Fig 1. Medición de run-out.</i></p>
<p>8.2 Revisar juego axial del eje respecto a la carcasa, la lectura total del indicador (TIR) no debe exceder 0,004" o según o especificaciones técnicas del fabricante del equipo.</p>	 <p><i>Fig 2. Medición de juego axial.</i></p>
<p>8.3. Revisar concentricidad del eje con el diámetro de la cámara de sellado debe ser de 0.001" por cada 1" de diámetro del eje hasta un máximo de 0,005".</p>	 <p><i>Fig 3. Medición de concentricidad.</i></p>
<p>8.4. Revisar perpendicularidad, la desviación angular debe estar dentro del siguiente valor 0,0005" por 1" de diámetro de la cámara de sellado. Asegurar que el desplazamiento axial no afecte la lectura.</p>	 <p><i>Fig 4. Medición de perpendicularidad.</i></p>

### 9. INSTALACION DEL SELLO MECANICO

- 9.1. Con la superficie del eje y las zonas de contacto de la bomba con el sello mecánico previamente limpias y pulidas deslizar el dispositivo de sellado sobre el eje.
- 9.2. No continuar con retirar espaciadores ni ajustar brida y collar hasta ensamblar la bomba.

### 10. ARMADO DE LA BOMBA

- 10.1. Instalar la tapa de la cámara del sello mecánico a la caja de rodamientos.
- 10.2. Instalar la tapa de la cámara del sello mecánico a la caja de rodamientos a la voluta.

### 11. ASEGURAMIENTO DEL SELLO MECANICO

- 11.1. Ajustar las tuercas que aseguran la brida del sello mecánico a la bomba.
- 11.2. Ajustar los prisioneros del collar de arrastre.
- 11.3. Retirar los espaciadores de la brida.

### 12. INSTALACION DEL PLAN 53B Y CONEXIONES AL SELLO MECANICO

- 12.1. Marcar y trazar marcas en la posición de la ubicación el plan API, respetando las dimensiones establecidas para el funcionamiento de este
- 12.2. Izar carga y posicionar en sentido vertical y ubicar en la zona demarcada.
- 12.2. Realizar perforaciones en la base de concreto para instalar chazos metálicos.
- 12.3. Asegurar el plan AI con los chazos metálicos.
- 12.4. Figurar y conectar las tuberías del Plan 53B – Sello mecánico – Plan 53B, en las conexiones que indica el plano de instalación.

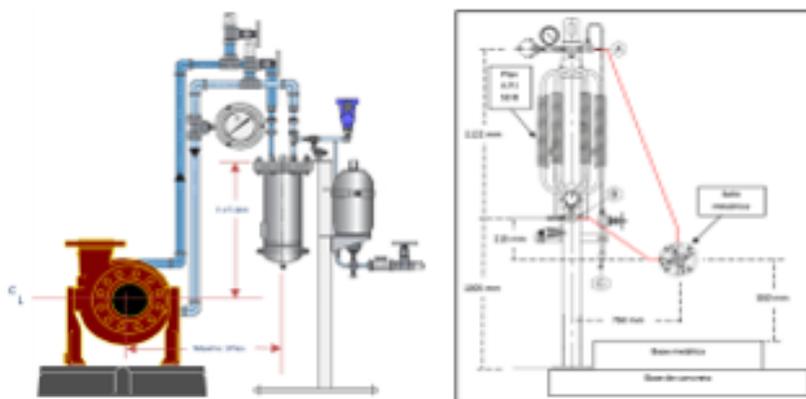


Fig. 5. Izquierda esquema del plan 53B. Derecha Dimensiones según condición para la instalación

F. ANEXO F. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN Y LISTA DE CHEQUEO DEL PLAN 53B

**PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN Y LISTA  
DE CHEQUEO DEL PLAN 53B.**



## 3. VERIFICAR LISTA DE COMPONENTES DEL PLAN 53B

LISTA DE COMPONENTES	SI	NO
1. STAND		
2. HEAT EXCHANGER AIR-COOLED		
3. FILTER Y 3/4" NPT #800 MESH 100		
4. ACCUMULATOR 32L		
5. BLOCK AND BLEED VALVE		
6. GATE VALVE 3/4" NPT		
7. BLOCK AND BLEED VALVE		
8. PRESSURE SWITCH 1000PSI SPDT 30VDC 5AMP		
9. CHECK VALVE 3/4" NPT #3000		
10. PRESSURE GAUGE 0-60 Kg/cm <sup>2</sup> DIAL 4"		
11. TERMOMETHER 0/200 °C W/THERMOWELL		

## 4. CARGA DEL SISTEMA

CARGA DEL SISTEMA	SI	NO
Revisar el fluido recomendado		
Revisar que todas las conexiones tanto del plan como del sello se encuentren conectadas correctamente.		
Realizar drenaje del sistema completamente, abra la válvula del venteo C6 y la válvula de drenaje D6.		
Revisar que la vejiga del Acumulador quede libre de presión, utilizando la válvula que se encuentra en la parte superior de la carcasa del mismo. Conexión F		
Realice el llenado de acuerdo con la tabla de presiones del sistema		
Precargar la vejiga del acumulador inyectando nitrógeno por la válvula S. Hasta alcanzar una presión de precarga.		
Luego de precargar la vejiga proceda a llenar el sistema de aceite con el siguiente procedimiento:		
A. Traer el carro de llenado con suficiente inventario.		
B. Conectar la manguera para el suministro de aceite de la bomba a la conexión rápida F		
C. Proceder a suministrar aceite accionando la bomba manual del carro de llenado		

D. Abrir la válvula C6, y llenar el sistema hasta que rebose primero por la válvula.		
Abrir las válvulas a instrumentos numero 7		
Cerrar la válvula de drenaje D6.		
Cerrar la válvula de venteo C6 cuando el aceite rebose por ella.		
Continuar la presurización del sistema con la bomba manual del carro de llenado hasta llegar a la presión de barrera recomendada.		
Cerrar la válvula E6		

#### 5. REPOSICION DE ACEITE Y/O NITROGENO

REPOSICION DE ACEITE Y/O NITROGENO	SI	NO
Revisar que todas las conexiones tanto del plan como del sello se encuentren conectadas correctamente.		
Verificar los instrumentos de medicion de presión		
Verificar que no exista fuga por ninguna de las conexiones del sistema		
Reponga nitrógeno hasta alcanzar la presión de barrera según la tabla.		
Silas condiciones indican que se debe reponer aceite siga los literales A, B y C del numeral del proceso anterior		

PRESIONES ACTUALES		Presión Estimada de Ojo de vaciado psi	Presión de Barrera Calculada psi	Presión de la vejga psi	Carga de la vejga psi	Carga de aceite psi	Alarma baja psi (Superco)	Alarma baja - baja psi (Diquendo)	Alarma alta psi (Superco)
SUCCION (psi)	DESCARGA (psi)								
0	50	7.5	37.5	9	30	7.5	13	17.5	23