

**DIAGNÓSTICO DE CONDICIÓN DE INFRAESTRUTURA DE PLANES DE  
SELLADO Y SELECCIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO. CASO DE  
APLICACIÓN: BOMBAS CENTRÍFUGAS DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA**

**IVAN RICARDO ACEVEDO WARNER**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

**2011**

**DIAGNÓSTICO DE CONDICIÓN DE INFRAESTRUTURA DE PLANES DE  
SELLADO Y SELECCIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO. CASO DE  
APLICACIÓN: BOMBAS CENTRÍFUGAS DE LA REFINERÍA DE CARTAGENA**

**IVAN RICARDO ACEVEDO WARNER**

**Monografía para optar el título de Ingeniero Mecánico**

**Dirigida por:**

**ROYMAN JOSÉ LÓPEZ BÉLTRAN**

**Ingeniero Mecánico M. Sc.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

**2011**

**Nota de aceptación**

-----  
-----  
-----  
-----

-----  
**Presidente del Jurado**

-----  
**Jurado**

-----  
**Jurado**

**Cartagena de Indias D. T. y C. Noviembre 2011**

Cartagena D.T. y C. Noviembre 2011

Señores

COMITÉ CURRICULAR

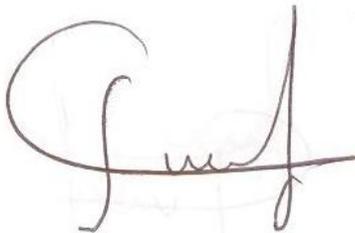
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Apreciados señores:

Mediante la presente me permito poner a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada DIAGNÓSTICO DE CONDICIÓN DE INFRAESTRUTURA DE PLANES DE SELLADO Y SELECCIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO. CASO DE APLICACIÓN: BOMBAS CENTRÍFUGAS DE REFINERÍA DE CARTAGENA como requisito para obtener el título de ingeniero mecánico.

Atentamente,



---

IVAN RICARDO ACEVEDO WARNER

CC: 1.047.421.393 de Cartagena

Cartagena D.T. y C. Noviembre 2011

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada DIAGNÓSTICO DE CONDICIÓN DE INFRAESTRUTURA DE PLANES DE SELLADO Y SELECCIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO. CASO DE APLICACIÓN: BOMBAS CENTRÍFUGAS DE REFINERÍA DE CARTAGENA para estudio y evaluación, la cual fue realizada por el estudiante IVAN RICARDO ACEVEDO WARNER, de la cual acepto ser su director.

Atentamente,



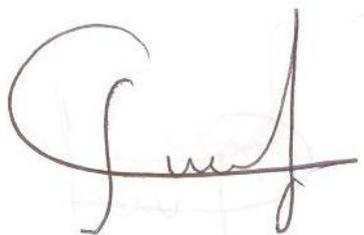
ROYMAN JOSÉ LÓPEZ BELTRÁN

Ingeniero Mecánico M. Sc.

## AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D.T Y C. Noviembre de 2011

Yo, IVAN RICARDO ACEVEDO WARNER, identificado con cedula de ciudadanía numero 1.047.421.393 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de investigación y publicarlo en el catalogo on-line de la biblioteca.



---

IVAN RICARDO ACEVEDO WARNER  
C.C 1.047.421.393 de Cartagena

## DEDICATORIA

A mi maravillosa abuela y a  
mis extraordinarios padres.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo darle las gracias primeramente a Dios, por darme la vida. A mis padres, Iván Acevedo y Yennis Warner por brindarme la oportunidad de estudiar y apoyarme incondicionalmente. A mi abuela, Editrudis Villadiego por estimularme y darme ánimos para salir adelante. A mi tío, Jhonny Warner por su constante apoyo.

También quiero agradecer al Ingeniero Royman López Beltrán por la colaboración, paciencia, apoyo y haber guiado el desarrollo de este trabajo hasta llegar a la culminación del mismo. A los docentes, por brindarnos sus conocimientos durante nuestra formación profesional. A a todas aquellas personas que me brindaron su confianza, apoyo y que directa o indirectamente ayudaron para que saliera adelante en mis estudios.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
JUSTIFICACIÓN	16
GLOSARIO	17
1. GENERALIDADES	20
1.1 BOMBAS HIDRÁULICAS	20
1.2 SELLOS MECÁNICOS	22
1.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE SELLOS MECÁNICOS	24
1.3.1 Planes de sellado API	24
2. ECOPETROL-REFINERÍA DE CARTAGENA	26
3. DIAGNOSTICO DE INFRAESTRUCTURA DE PLANES DE SELLADO	28
3.1 VERIFICACIÓN DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ROTATIVO MENOR REFINERÍA DE CARTAGENA	28
3.2 DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL DIAGNÓSTICO	30
3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE EQUIPOS	31
3.4 INSPECCIÓN DE PLANES DE SELLADO	32
3.5 HALLAZGO Y REGISTRO DE NO CONFORMIDADES	36
4. SELECCIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO	42
4.1 PROPUESTAS DE RECOMENDACIÓN	42
4.1.1 Metodología para selección de acciones	42
4.2 RESULTADOS ESPERADOS	52
5. CONCLUSIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	56

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Planes de sellado API	25
Tabla 2. Información bombas centrífugas UDC	33
Tabla 3. Bombas Centrífugas en servicio	36
Tabla 4. Consecuencias generadas por no conformidades en planes API	46
Tabla 5. Diagnóstico y recomendaciones planes API UDC	47
Tabla 6. Diagnóstico y recomendaciones planes API URC	49
Tabla 7. Diagnóstico y recomendaciones planes API USI	49
Tabla 8. Diagnóstico y recomendaciones planes API MPP	50

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Distribución reparaciones por componente	28
Gráfica 2. Modo de falla Equipo Rotativo Menor	29
Gráfica 3. Distribución de costos de reparación de Equipo Menor por modo de falla	29
Gráfica 4. Costos por planta de los principales modos de falla	30
Gráfica 5. Distribución de Bombas Centrífugas por planta	35
Gráfica 6. Distribución Planes de sellado por planta	40
Gráfica 7. Distribución de Planes de sellado con no conformidades por planta	41

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación bombas hidráulicas	20
Figura 2. Sistema típico de sello mecánico	22
Figura 3. Película de lubricación interfacial	23
Figura 4. Plantas industriales Refinería de Cartagena	26
Figura 5. Ficha Técnica bombas VRP204 A/B	32
Figura 6. No conformidades presentes en infraestructura de plan API 11	37
Figura 7. Intercambiador instalado inadecuadamente.en plan API 22	37
Figura 8. Intercambiador instalado inadecuadamente.en plan API 23	38
Figura 9. Intercambiador fuera de especificaciones	38
Figura 10. Planes API 32 y 62 instalados inadecuadamente	39
Figura 11. Fugas por conexiones y elementos del plan API 32	39
Figura 12. Línea de plan API 62 sin facilidad para instalar manómetro	40
Figura 13. No conformidades en planes API 11 y 62	43
Figura 14. Configuración estándar plan API 11	44
Figura 15. Configuración estándar plan API 62	45

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Configuraciones planes de sellado API	57
Anexo B. Recomendaciones para adecuada instalación de Intercambiadores	64
Anexo C. Imágenes Memorando Planes API UDC	66

## INTRODUCCIÓN

Como empresa perteneciente al Grupo empresarial Ecopetrol S.A. la Refinería de Cartagena se ha consolidado como una de las empresas más competitivas a nivel nacional en la refinación, venta y distribución de hidrocarburos, sus derivados y productos. Por tal razón, es primordial para la empresa una operación eficiente de sus activos, asegurando su confiabilidad e integridad, así como contar con estrategias para la eliminación de defectos o no conformidades, buscando siempre la mejora continua en la calidad de sus procesos.

En la Refinería de Cartagena aproximadamente un 60 % de los activos se constituyen en bombas centrífugas. Actualmente se han venido dando numerosas paradas no programadas de bombas centrífugas, por fallas en sus sellos mecánicos, esto ha provocado pérdidas en la producción y altos costos en mantenimiento correctivo. Se ha evidenciado a través de informes de confiabilidad de la empresa, como modo de falla predominante en las bombas, el modo de falla por sello mecánico, el cual estuvo asociado a los mayores costos de reparación para equipos menores.

El presente proyecto hace parte del área de confiabilidad e integridad de equipos y busca reducir las fallas de bombas centrífugas por sellos mecánicos, a través de la eliminación de no conformidades presentes en sus planes de sellado API. La inadecuada instalación y no conformidades presentes en la infraestructura de los planes de sellado API, reducen la vida útil de los sellos mecánicos. Tomamos como eje central del proyecto la realización de un diagnóstico de la infraestructura de los planes de sellado instalados, teniendo como referencia la norma API 682 3ra Edición. Posteriormente seleccionamos acciones de mejora.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Mejorar la confiabilidad de las bombas centrífugas instaladas en las plantas industriales de la Refinería de Cartagena, con la reducción de fallas por sellos mecánicos, mediante la selección de acciones de mejoramiento en la infraestructura de los planes de sellado API.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Conocer estructura y funcionamiento de una bomba centrífuga, sellos mecánicos y planes de sellado.
- Conocer los lineamientos establecidos por el API para la instalación y funcionamiento de los planes de sellado.
- Diagnosticar las condiciones de infraestructura de los planes de sellado instalados en las plantas de proceso de la Refinería de Cartagena, y comparar con las especificaciones establecidas en la norma API 682 para planes de sellado.
- Realizar propuestas de recomendación con acciones correctivas y preventivas para la mejora de la infraestructura de los planes de sellado y aumento de la confiabilidad de las bombas centrífugas.

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el mayor número de intervenciones en equipos menores de la refinería de Cartagena se da en bombas centrífugas, por fallas en sellos mecánicos, modo de falla que también estuvo asociado a los mayores costos de reparación en equipo menor, por consiguiente, para alcanzar el objetivo de mejorar la confiabilidad de las bombas centrífugas es necesario reducir las fallas por sellos mecánicos. Si las fallas en sellos mecánicos no son controladas, seguirán ocurriendo paradas no programadas de bombas centrífugas, tendría un grave impacto sobre la producción y sobrecostos en mantenimiento correctivo. Las situaciones mencionadas anteriormente aumentan los riesgos frente a la calidad de los productos de la empresa, reducen la confiabilidad de las bombas centrífugas y dificultan la optimización de procesos y recursos en la empresa, por lo que hacen la situación susceptible de una mejora continua. Se tomo como plan de acción el diagnóstico de condición de la infraestructura de los planes de sellado API en bombas centrífugas, partiendo de la norma API 682 3ra Edición, y posterior selección de acciones de mejoramiento sobre los planes de sellado.

Con la selección de las acciones de mejoramiento para los planes de sellado la empresa tendrá la oportunidad de acogerse a las normas establecidas por el API, para la instalación y protección de los sellos mecánicos, garantizando el buen funcionamiento de los mismos, aumentando la confiabilidad de la bomba centrífuga. Lo anterior, contribuye a un mayor tiempo de corrida del equipo, que se traduciría en mejoramiento económico, con menos pérdidas en la producción por paradas indeseadas y menos perdidas de dinero en mantenimiento correctivo (reparaciones). Se otorga más seguridad en los procesos, para el cuidado humano y del medio ambiente, haciendo la empresa mucho más competente.

## GLOSARIO

**ACCIÓN DE MEJORA:** acción correctiva o preventiva tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación indeseable.

**ANILLO ANTI-EXTRUSIÓN:** un anillo rígido o semi-rígido empleado en una o ambas terminaciones de un juego de empaques, principalmente para prever la extrusión en los huecos.

**ANILLO DE BOMBEO:** un impulsor simplificado dentro de una caja de sellado, por la cual circula fluido a través de un circuito cerrado con propósitos refrigerantes.

**ANSI:** “American National Standards Institute”; Instituto Nacional Americano De Estándares.

**API:** “American Petroleum Institute”; Instituto Americano Del Petróleo. Desarrolla estándares y especificaciones para bombas centrifugas y sellos mecánicos para la industria de la refinación.

**ASME:** siglas de "American Society of Mechanical Engineers", que se ha convertido en un conjunto de normas para la construcción de calderas.

**CAJA DE SELLADO:** componente del cuerpo de la bomba, que forma la región entre el eje y el cuerpo de la bomba en donde se aloja al dispositivo de sellado.

**CARA:** anillo primario o asiento con una cara plana y pulida “lampeada” que gira uno en contra del otro y crean el efecto de sellado.

**CHEVRON:** conjunto de empaquetadura compuesto de base, anillos intermedios y tapa. Comúnmente utilizado en bombas de desplazamiento positivo.

**DRENAJE:** configuración de conductos interconectados que permite el desalojo de líquidos o de la excesiva humedad de un determinado sistema.

**EMPAQUETADURA:** variedad de materiales desde algodón hasta materiales sintéticos, ajustados en la cámara de sellado. La empaquetadura es usada para sellar a través del contacto entre el eje y esta y la compresión por medio de una brida de apriete.

**EQUIPO MAYOR:** Equipo cuya parada interrumpe el proceso productivo llevando a la pérdida de producción y a el cese de la obtención de utilidades.

**EQUIPO MENOR:** Equipo que participa del proceso productivo, pero su parada, por algún tiempo no interrumpe la Producción.

**FILTRO EN “Y”:** dispositivo en forma de “Y” usado para remover partículas extrañas de un fluido en un sistema hidráulico.

**FLUIDO BARRERA:** fluido que es introducido en sellos mecánicos dobles, con la finalidad de aislar el líquido proceso del medio ambiente. La presión del fluido barrera es siempre mayor que la presión de proceso a sellar.

**FLUIDO DE LAVADO:** fluido introducido a la cámara de sellado usado para remover impurezas de las caras del sello y ayudar al manejo de emisiones.

**FLUJOMETRO:** elemento utilizado para medir el caudal en sistemas hidráulicos. Generalmente se conectan en la línea donde se requiere medirlo.

**FLUSHING:** conexión que tienen los sellos mecánicos para la instalación de los sistemas de lubricación y enfriamiento de sus caras.

**FUGA:** expulsión anormal y no controlado de fluido entre las caras del sello mecánico, yendo del proceso a la atmósfera.

**INTERRUPTOR DE PRESIÓN:** interruptor operado por una disminución o por un aumento de presión.

**ISO:** “International Standard Organization”, Organización Internacional De Estándares.

**MEJORA CONTINUA:** actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir con las necesidades o expectativas en una empresa. Las necesidades pueden estar relacionadas con cualquier aspecto tal como eficacia o la eficiencia.

**MODO DE FALLA:** posibles maneras en que un componente de un equipo o sistema puede fallar. Usualmente muchas.

**NO CONFORMIDAD:** eventos en los equipos que no impiden su funcionamiento, pero todavía pueden a corto o largo plazo, provocar su indisponibilidad.

**O-RING:** anillo de elastómero el cual es usado como elemento de sellado secundario o junta.

**PLACA DE ORIFICIO:** instrumento que regula el flujo a través de una tubería por medio de la medición de la diferencia de presión antes y después de una placa con un orificio central.

**PRESIÓN DE SELLADO:** presión hidráulica que actúa en la caja de sellado.

**QUENCH:** conexión en el lado atmosférico del sello mecánico para lavar o calentar las emisiones del sello mecánico.

**SELLO DOBLE:** arreglo de dos sellos sencillos usados en una cámara de sellado.

**SELLO HÚMEDO:** cualquier tipo de sello que necesita de un líquido para lubricar y enfriar sus caras.

**SELLOS SENCILLOS:** cubren satisfactoriamente el mayor número de aplicaciones de sellos mecánicos, pueden montarse interiormente o exteriormente.

**SEPARADOR CICLÓNICO:** dispositivo cónico que separa partículas sólidas pesadas del fluido más ligero por medio de fuerza centrífuga.

**SISTEMA DE PRESURIZACIÓN CON NITRÓGENO:** sistema encargado de suministrar a una tubería un gas protector y la presión suficiente para prevenir la entrada de vapores, líquidos o gases inflamables, o de polvos o fibras combustibles.

**TERMÓMETRO BIMETÁLICO:** instrumento usado para medir temperatura. Funciona por dos láminas de metales de coeficientes de dilatación muy distintos y arrollados dejando el coeficiente más alto en el interior.

**VENTEO:** procedimiento para forzar la salida del aire de una tubería que está cerrada al agua y vapor.

**FLASHEO:** cambio de fase de líquido a gas en las caras del sello mecánico.

**RESERVORIO API:** tanque o recipiente usado en los planes de lubricación al sello mecánico.

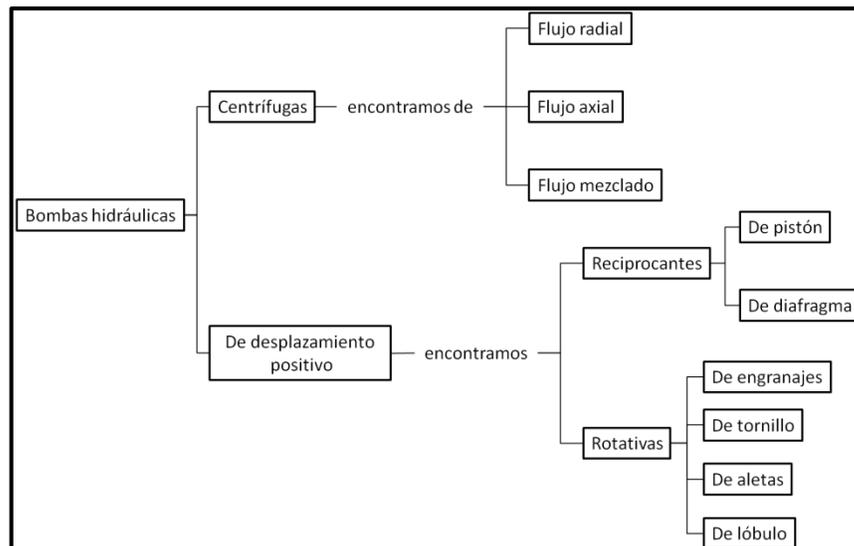
# 1. GENERALIDADES

## 1.1 BOMBAS HIDRÁULICAS

Una bomba hidráulica es una máquina que toma la energía mecánica de un líquido (de movimiento) proporcionada por una unidad motriz (motor o turbina) y la convierte en energía hidráulica para impulsarlo y lograr transferir líquido de una localización a otra. Esta energía hidráulica puede ser de velocidad y/o presión. <sup>[11]</sup>

La clasificación más aceptada define dos tipos de bombas hidráulicas: centrífugas y de desplazamiento Positivo. Si extendemos esta clasificación a sus tipos individuales por diseño, encontraremos los tipos de bombas que se muestran en la figura 1: <sup>[11]</sup>

Figura 1. Clasificación bombas hidráulicas. <sup>[2]</sup>



En las bombas centrífugas el incremento de presión en el fluido se realiza por un elemento rotativo llamado impulsor, el cual se encuentra contenido en la carcasa y

está montado sobre el extremo del eje de rotación de la bomba. El líquido entra en el centro del impulsor y es rotado por medio de los álabes del impulsor. Entonces, la acción de la fuerza centrífuga arroja el líquido desde el centro del impulsor a su periferia imprimiéndole velocidad y presión. Dentro de la carcasa hay un pasillo helicoidal llamado voluta que recoge el líquido y convierte parte de su velocidad en más energía de presión. La voluta termina en la brida de descarga de la bomba. <sup>[11]</sup>

Una bomba de desplazamiento positivo está compuesta de elementos de rotación (engranajes, lóbulos, aletas, tornillos sencillos, dobles, triples, etc.) o reciprocantes (pistones, diafragmas), funcionando en una envoltura muy ajustada. El líquido es atrapado por el elemento que gira o se mueve recíprocamente; al igual que la bomba centrífuga, lo fuerza alrededor del interior de la carcasa, produce un cambio de volumen y lo expulsa a través de la descarga mediante una acción de bombeo “positiva”, que es cuando se desplaza una cantidad exacta de fluido por cada revolución. <sup>[11]</sup>

Tanto las bombas centrífugas, como de desplazamiento positivo y sus respectivas variaciones tienen un dispositivo de sellado entre eje y carcasa del equipo para evitar la fuga del fluido bombeado a la atmósfera, los más comunes son: los sellos mecánicos y las empaquetaduras de compresión. <sup>[11]</sup>

El sellado en bombas de desplazamiento positivo normalmente se efectúa por empaquetaduras de compresión o un diseño sofisticado se estas, como los anillos de Chevron o anillos fabricados con elastómeros de sección transversal en forma de “U” o en “V”; mientras que el sellado en las bombas centrífugas comúnmente se realiza por sello mecánico. <sup>[11]</sup>

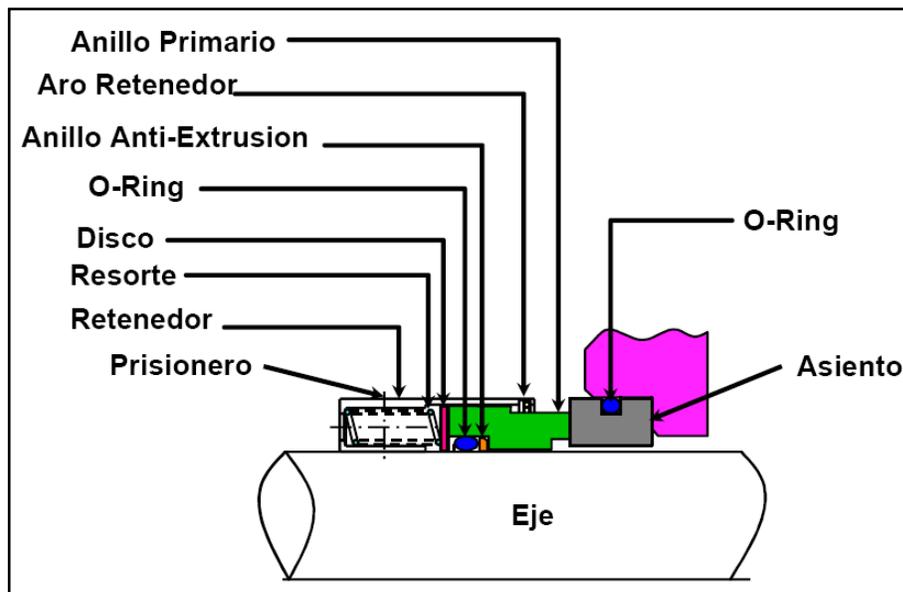
En la actualidad, las bombas centrífugas son más adecuadas para mover mayor cantidad de líquido que cualquier otro tipo de bombas, lo que las hace las más versátiles y por lo tanto las más usadas a nivel industrial. <sup>[11]</sup>

## 1.2 SELLOS MECÁNICOS

Un sello mecánico es un dispositivo de sellado que evita el escape de fluido de un recipiente cerrado hacia su exterior. Generalmente se usan en bombas centrífugas como elemento de cierre o contención del fluido bombeado.<sup>[12]</sup>

Un sello mecánico opera con dos partes: una rotativa (anillo primario) que va incorporada al eje y apretada por medio de resortes contra otra estacionaria (asiento). Las caras rotatoria y fija deben ser planas para asegurar un sello eficiente. La parte estacionaria es normalmente de carbón y está fijada en la brida del sello con un O-Ring. La parte rotativa es normalmente de acero inoxidable; no está unida al eje o camisa, sino que, gracias a uno o varios resortes, se mantiene apretada contra la cara estacionaria. Se utiliza una junta de cierre, que puede ser de varios tipos, entre la parte rotativa y el eje. Normalmente esta junta es un simple O-Ring.<sup>[12]</sup>

Figura 2. Sistema típico de sello mecánico.<sup>[11]</sup>



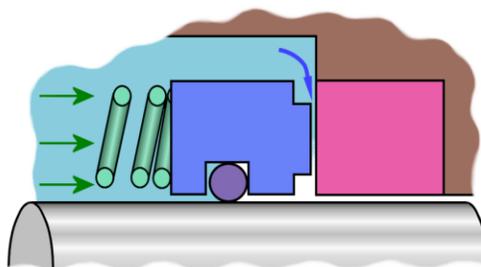
Durante el funcionamiento de una bomba centrífuga se genera calor en el sello mecánico debido a la fricción constante entre sus caras. Sin forma alguna de lubricación habría sobrecalentamiento y dichas caras se desgastarían en poco tiempo. Para la correcta operación de un sello mecánico, debe formarse entre las caras de contacto una película de lubricación. Comúnmente la película es proporcionada por el líquido objeto de sellado de la siguiente manera: <sup>[6]</sup>

- En funcionamiento, el fluido a presión se introduce entre las caras. <sup>[6]</sup>
- El fluido introducido, forma una película que las lubrica. <sup>[6]</sup>
- La presión de sellado a la vez cierra las caras. <sup>[6]</sup>

La película lubricante se encarga de lubricar y enfriar las caras del sello, por lo que se hace indispensable mantener su estabilidad si se quiere que el sello opere satisfactoriamente. Sin embargo, muchas veces el líquido que forma la película no tiene las propiedades ideales para lubricar y enfriar, por lo que el calor friccional puede aumentar dando como resultado flasheo entre las caras, lo que provocaría desgaste de las caras y aumentaría el riesgo de falla del sello mecánico <sup>[6]</sup>

Para que la película de lubricación interfacial se forme adecuadamente, es necesario instalar sistemas para extraer el calor que se genera en las caras de contacto del sello mecánico. Muchas veces se recurre a inyecciones de fluido lubricante desde fuentes externas. <sup>[6]</sup>

Figura 3. Película de lubricación interfacial. <sup>[11]</sup>



### 1.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE SELLOS MECÁNICOS

Los sistemas de protección se utilizan para proveer al sello un ambiente adecuado para su funcionamiento, facilitando la formación de la película de lubricación para reducir el roce entre las caras y disipar el calor que se genera en ellas.<sup>[6]</sup>

Adicionalmente, cumple las siguientes tareas:

- Seguridad del personal <sup>[7]</sup>
- Remoción del exceso de calor <sup>[7]</sup>
- Reducir el riesgo de pérdida de producto <sup>[7]</sup>
- Aislar al fluido de proceso a la atmósfera <sup>[7]</sup>
- Monitorear el funcionamiento y prolongar la vida del sello <sup>[7]</sup>

#### 1.3.1 Planes de sellado API

El API, conjuntamente con ANSI, ASME e ISO creó, para la protección a los diferentes arreglos de sellos mecánicos existentes en la industria, unos sistemas de protección de sellos identificados con números a los que luego se les agregaron letras, conocidos como planes de sellado API. Dependiendo del tipo de fluido bombeado, de sus características, condiciones en las cuales se bombea y del arreglo del sello, variará el sistema de protección. De la aplicación adecuada, conocimiento, uso y mantenimiento de los planes de sellado API depende la duración apropiada del sello mecánico. Actualmente los planes se rigen por la norma API 682 3da Edición y son presentados en la tabla 1.<sup>[6]</sup>

Los planes de sellado son instalados al sello por medio de las conexiones de flushing y quench integradas a la caja de sellado.<sup>[7]</sup>

Tabla 1. Planes de sellado API. [6]

FLUIDO BOMBEADO	ACCIÓN REQUERIDA	PLANES API
I. Fluidos Limpios	Circulación (Lubricación)	PLAN 1 Circulación Integral PLAN 11 Recirculación PLAN 12 Recirculación con filtro PLAN 13 Recirculación Inversa PLAN 14 Recirculación con retorno
II. Fluidos a Temperatura	Enfriamiento	PLAN 2 Enfriamiento integral PLAN 21 Recirculación con enfriador PLAN 22 Recirculación con enfriador y filtro PLAN 23 Circuito cerrado con enfriador
III. Fluidos Abrasivos	Lubricación	PLAN 31 Recirculación con separador PLAN 32 Inyección de fuente externa de fluido
IV. Fluidos Abrasivos a temperatura	Enfriamiento y Lubricación	PLAN 41 Recirculación con separador y enfriador
V. Fluidos Peligrosos - Ácidos y Cásticos - Tóxicos y Cancerígenos - Explosivos e Inflamables	Seguridad	PLAN 51 Sello sencillo PLAN 52 Sello dual no presurizado PLAN 53 Sello dual presurizado PLAN 54 Sello dual presurizado
VI Fluidos en General	Manejo de Emisiones	PLAN 61 Venteo y drenaje PLAN 62 Lavado y drenaje
VII. Gases	Barrera de Gas	PLAN 71 Barrera de Gas Opcional PLAN 72 Barrera de Gas No Presurizada PLAN 74 Barrera de Gas Presurizada PLAN 75 Drenaje de Fuga que condensa PLAN 76 Venteo de Fuga que no condensa

En el conjunto de planes API (Ver anexo A) encontramos planes de Lubricación, enfriamiento y auxiliares con aplicación para sellos húmedos y planes para aplicaciones de gas. En el desarrollo de este trabajo solo consideraremos planes de lubricación con aplicación para sellos húmedos. Cabe anotar que una bomba que trabaje con sello mecánico húmedo debe tener como mínimo un plan API 01 o API 11 para poder operar.

## 2. ECOPETROL-REFINERÍA DE CARTAGENA

La Refinería de Cartagena S.A. es una empresa perteneciente al Grupo empresarial Ecopetrol S.A. y se encuentra ubicada en el Km. 10 Vía Mamonal. Tiene como principal área de impacto en la industria petrolera el “Downstream”, que consiste en la refinación, venta y distribución de hidrocarburos, sus derivados y productos.<sup>[4]</sup>

Para el negocio de la refinación, la Refinería de Cartagena consta principalmente de cuatro unidades, tres de procesos y una de servicios industriales:<sup>[4]</sup>

Unidad de Destilación Combinada (UDC)

Unidad de Ruptura catalítica (URC)

Unidad de Servicios Industriales (USI)

Materias Primas y Productos (MPP)

Figura 4. Plantas industriales Refinería de Cartagena.<sup>[4]</sup>



En la empresa encontramos todo tipo de activos, los cuales han sido divididos de manera muy general en dos grandes grupos:

### **Equipo Estático**

- Tuberías
- Válvulas
- Recipientes
- Equipos de transferencia de calor
- Hornos
- Calderas
- Tanques de almacenamiento

### **Equipo Rotativo**

- Accionamientos de unidades motrices: Motores y Turbinas
- Bombas centrífugas
- Bombas rotativas y reciprocantes de desplazamiento positivo
- Compresores centrífugos
- Compresores de desplazamiento positivo
- Ventiladores
- Turbogeneradores

### 3. DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA DE PLANES DE SELLADO API

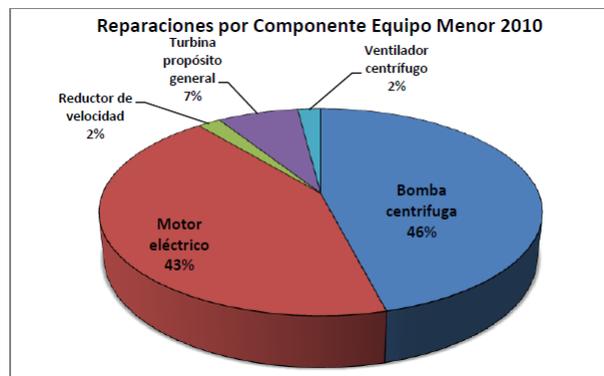
#### 3.1 VERIFICACIÓN DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ROTATIVO MENOR REFINERÍA DE CARTAGENA

Durante la realización del último informe anual de gestión de confiabilidad de equipo rotativo de la Refinería de Cartagena, correspondiente al año 2010, los modos de falla fueron tratados y clasificados en dos categorías: Equipo Rotativo Menor y Equipo Rotativo Mayor. Las bombas centrífugas se encuentran dentro del grupo Equipo Rotativo Menor, por esta razón nos centraremos en el mismo.

Partiendo del último informe de confiabilidad se pudo establecer lo siguiente:

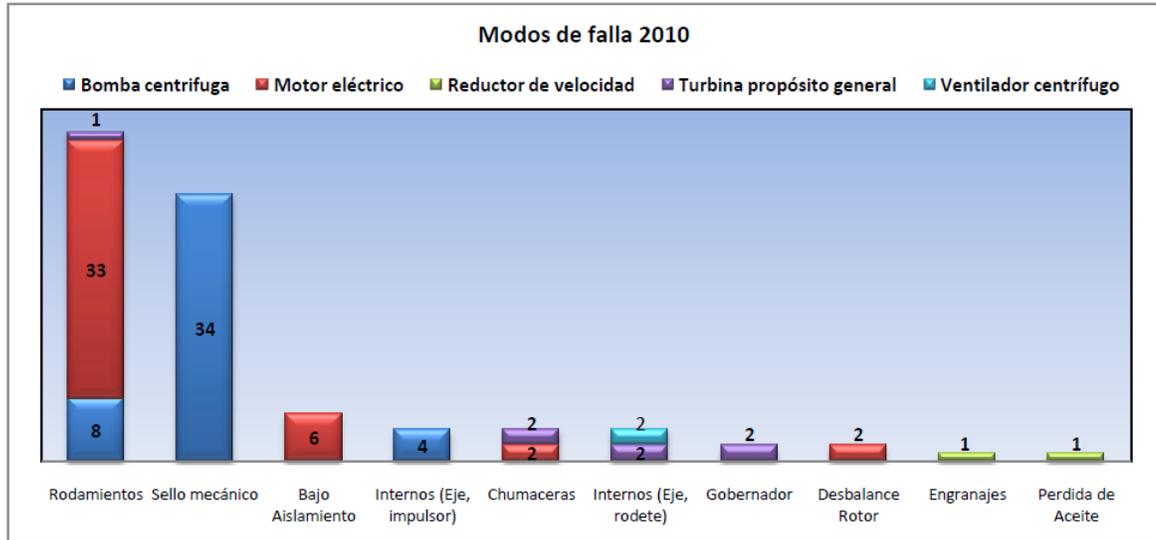
- I. El mayor porcentaje de intervenciones en equipo menor se originaron en las Bombas centrífugas (46%), como se muestra en la gráfica 1.<sup>[9]</sup>

Gráfica 1. Distribución reparaciones por componente.<sup>[9]</sup>



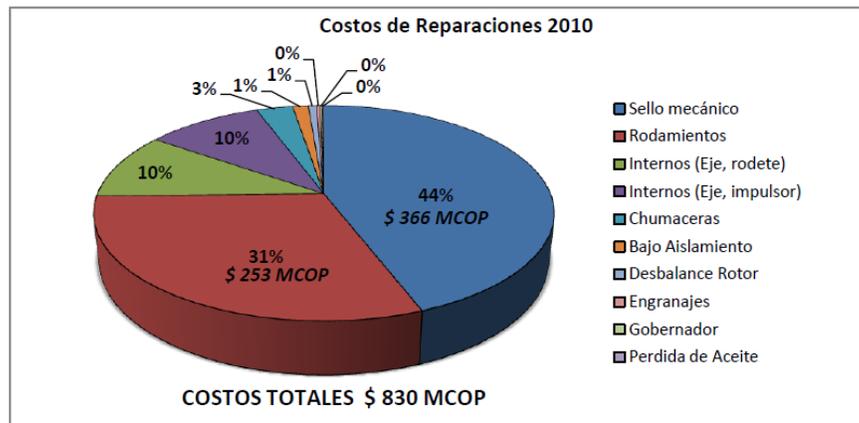
- II. Un 34% de las intervenciones hechas a bombas centrífugas tuvieron como objeto reparación de sellos mecánicos, lo que convierte al modo de falla por sello en modo de falla predominante.<sup>[9]</sup>

Gráfica 2. Modo de falla Equipo Rotativo Menor. <sup>[9]</sup>



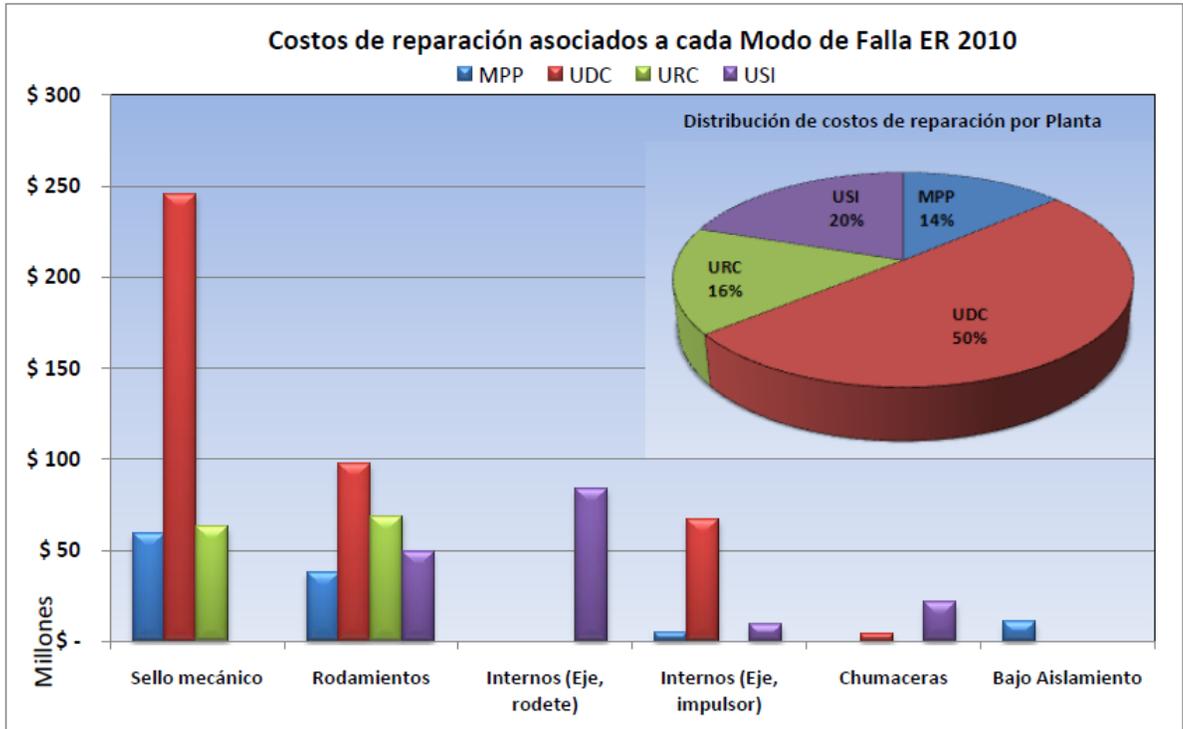
III. El mayor costo asociado a los modos de falla en equipo menor lo representó el modo de falla sellos mecánicos con 44% de los costos totales. <sup>[9]</sup>

Gráfica 3. Distribución costos de reparación Equipo Menor por modo de falla. <sup>[9]</sup>



IV. La Unidad de Destilación Combinada (UDC) representó el 50 % de los costos totales originados por reparaciones, de los cuales el 30% está asociado al modo de falla por sello mecánico. <sup>[9]</sup>

Gráfica 4. Costos por planta de los principales modos de falla.<sup>[9]</sup>



Partiendo de la información suministrada por el informe anual 2010 de Equipo Rotativo evidenció que el modo de falla por sellos mecánicos fue el modo de falla predominante y que más impacto tuvo en los costos totales de reparación.

### 3.2 DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL DIAGNÓSTICO

Para contribuir a la erradicación de las fallas por sellos mecánicos, hemos decidido atacar el problema a través de los sistemas de protección de los sellos mecánico. Sabiendo que las no conformidades presentes en la infraestructura de los planes API, aumentan el riesgo de falla en el sello mecánico, se realizó como plan de acción un diagnóstico de la condición de infraestructura de los planes de

sellado instalados en refinería, teniendo como referencia los lineamientos establecidos por la norma API 682 3ra Edición.

Para la elaboración del trabajo se tomo como prioridad la Unidad de Destilación Combinada (UDC), por ser la planta en donde se dio el mayor porcentaje de costos asociados a reparaciones por sellos mecánicos de toda la refinería, según indicadores de gestión.

### **3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE EQUIPOS**

Partiendo de las fichas técnicas (data sheets) se recolecto información técnica y relativa al servicio de todas las bombas centrífugas por planta:

- TAG del equipo (Denominación) y ubicación
- Servicio del equipo (fluido bombeado) y condiciones de operación
- Sello mecánico de la bomba

La figura 5 muestra la ficha técnica del la bomba centrífuga VRP204A/B, perteneciente a la planta UDC. En ella se puede apreciar información sobre el producto y las condiciones de operación de la bomba.

Generalmente, las fichas técnicas no brindan información acerca del plan API instalado en la bomba y el estado en que esta se encuentra, (comúnmente puede ser: operando o fuera de servicio). Sin embargo, obtuvimos esta información con visitas a cada uno de los equipos en campo.

Figura 5. Ficha Técnica bombas VRP204 A/B. [5]

ECOPETROL				SUPERINTENDENCIA DE SOPORTE Y SERVICIO				
REFINERIA CARTAGENA				DEPARTAMENTO DE DE SARROLLO TECNOLÓGICO				
DATA SHEET FOR				PLANTA / VS CARREDUCTORA				
CENTRIFUGAL PUMPS (BOMBAS CENTRIFUGAS)				SISTEMA				
1	Service	BOMBAS DE GASOLEO PESADO		No. Req. d.	2		Item	VR-P-204 A/B
2	Main/Driver	ELEC. MOTOR		Spare/Driver	ELEC. MOTOR		MFR.	
3	Pump MFR.	Size and Type		<input checked="" type="checkbox"/> Horiz. <input type="checkbox"/> Vert. <input type="checkbox"/> In-line				
4	OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP				PERFORMANCE			
5	LIQUID	GASOLEO PESADO	GPM at PT	Norm.	627	Rated	752	Proposal Quote No.
6			Disch. Press.	Psig	148			NPSH Req'd. (water) Ft.
7	PT *Ft.	501	Suct. Press.	Psig	Max. 40	Rated	6.5	No. of Stages
8	Sp. Gr. at PT	0.793	Diff. Press.	Psig		141.5		rpm
9	V. Press. at PT psia	0.48	Diff. Head.	R		4.12		Des. Eff. %
10	Vls at PT Co	1.14	NPSH Avail.	R		25		Rated Pow. HP
11	Corr./Eros. caused by	ACIDOS NAFTENICOS						Min. Continuous gpm
12	CONSTRUCTION AND MATERIALS				Rotation Facing Coupling end			
13	Casing	Mounting	Centerline	Root	<input type="checkbox"/> Bracket		Cooling Water	
14			Vertical	In line			Bearing	
15		Split	Axial	Radial			Stuff. Box	
16		Type	Single Volute	Double Volute	Diffuser	<input type="checkbox"/> Staggered	Pedestal	
17		Tapped Openings	Vent	Drain	Gage		Gland	
18	NOZZLES	Size in.	Rating	Facing	Position		Total Water Req'd. gpm	
19	Suction						Packing Cooling	
20	Discharge						Flushing Pan	
21	Impeller Diam. in.	Rated	Max.	Min.	Type		Aux. Piping by MFR	
22	Impeller	<input type="checkbox"/> Overhung	<input type="checkbox"/> Between Bearings	<input type="checkbox"/> Single Suction	<input type="checkbox"/> Double Suction		External Seal Flush	
23	Bearing	Radial	Thrust	Lubr.			Fluid	
24	Coupling	MFR Type					Stuffing Box Pressure psig	
25	Sagor	Guard	M/D by					
26	<input type="checkbox"/> Packing	MFR Type	Size in.	No. of Rings				
27	<input type="checkbox"/> Mech. Seal	MFR Type	Class Code					

### 3.4 INSPECCIÓN DE PLANES DE SELLADO API

La inspección estuvo enfocada en las condiciones de infraestructura o instalación de los planes API. La instalación debe cumplir con las especificaciones señaladas por la norma API 682 3ra Edición, dependiendo del servicio de la bomba. La inspección fue hecha en campo con el acompañamiento de los proveedores de sellos de la empresa.

Se elaboró una base de datos en excel por planta para hacer un manejo práctico de la información recolectada durante la inspección de cada plan de sellado, y fue complementada con información sobre el servicio y condiciones de operación de la bomba obtenida anteriormente de las fichas técnicas. La tabla 2 presenta la información recolectada para las bombas centrífugas de la planta UDC.

Tabla 2. Información bombas centrífugas UDC. <sup>[1]</sup>

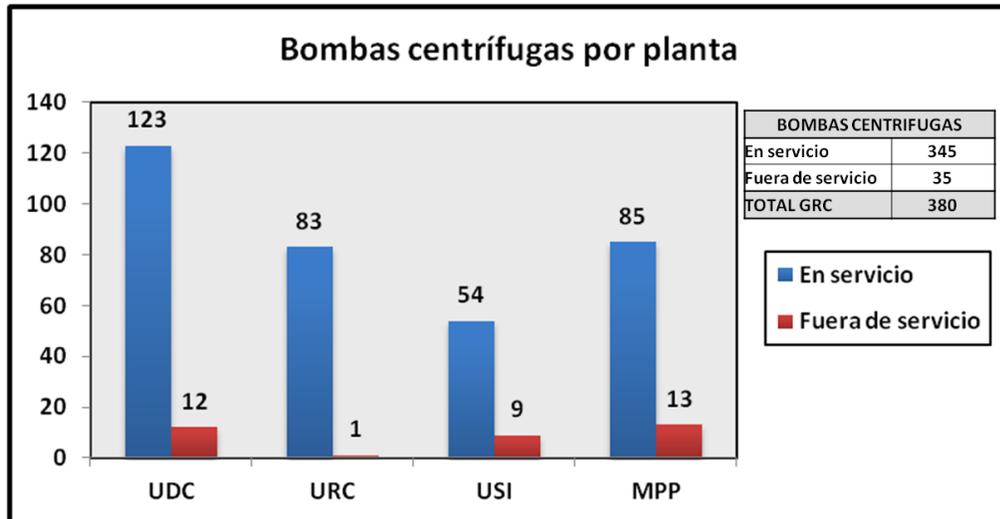
Área	Producto	(°F)	TAG	Estado	Lubricación	Auxiliar
Crudo atmosférico	Crudo	90	PSP313A	Operando OK	PLAN 12 [19] L.A [15] L.C	PLAN 62 [0] L.A [2] L.C
Crudo atmosférico	Crudo	90	PSP313B	Stand By en falla	PLAN 12 [10] L.A [7] L.C CAMB MAN (0,100)	62 CAMB 2 MAN (0,30)
Crudo atmosférico	Crudo	90	PSP301	Operando OK	PLAN 12 [36] L.A [26] L.C	62 CAMB 1 MAN (0,30)
Crudo atmosférico	Demulsificador	90	PSP316	Operando OK	NA	NA
Crudo atmosférico	Turbo / Jet	NA	PSP317	Stand by en falla	PLAN 11	PLAN 62
Crudo atmosférico	Flux-Oil		PSP403B	Stand By	PLAN 11	NA
Crudo atmosférico	Flux-Oil		PSP403A	Stand By	PLAN 11	NA
Crudo atmosférico	Flux-Oil	120	PSP16	Operando OK	PLAN 12	NA
Crudo atmosférico	Jet	320	PSP307A	Operando OK	PLAN 11	NA
Crudo atmosférico	NA	NA	PSP4	Stand by en falla	PLAN 32	NA
Crudo atmosférico	Jet	320	PSP307B	Operando en falla	PLAN 11	NA
Crudo atmosférico	Nafta P.		PSP309	Operando OK	PLAN 11	62 SIN FACILIDAD
Crudo atmosférico	Nafta P. kero	230	PSP310A	Mantenimiento en taller	PLAN 11	VERIFICAR
Crudo atmosférico	Kero	350	PSP310B	Operando OK	PLAN 11	62 SIN FACILIDAD
Crudo atmosférico	Kero	400	PSP304A	Mantenimiento en taller	PLAN 13	62 SIN FACILIDAD
Crudo atmosférico	Kero	400	PSP304B	Operando OK	PLAN 13	62 SIN FACILIDAD
Crudo atmosférico	Nafta Virgen	120	PSP8	Operando OK	(40) PLAN 11	NA
Crudo atmosférico	Nafta Virgen	130	PSP315B	Stand By	PLAN 11	NA
Crudo atmosférico	Nafta Virgen	130	PSP315A	Operando OK	PLAN 11	62 SIN FACILIDAD

Tabla 2. Información bombas centrífugas UDC (Continuación).<sup>[1]</sup>

Lubricación	Auxiliar	Comentario
PLAN 12 [19] L.A [15] L.C	PLAN 62 [0] L.A [2] L.C	Verificar: Placa de orificio, presión de Flushing ( <b>JOHN CRANE</b> )-Verificar función de válvula (al parecer reguladora) en la línea del plan, Cambiar tubería por tubing de 1/2".
PLAN 12 [10] L.A [7] L.C CAMB MAN (0,100)	62 CAMB 2 MAN (0,30)	Verificar: Placa de orificio, presión de Flushing ( <b>JOHN CRANE</b> )-Verificar función de válvula (al parecer reguladora) en la línea del plan-Soportes, Cambiar tubería por tubing de 1/2", fuga de vapor en línea de quench.
PLAN 12 [36] L.A [26] L.C	62 CAMB 1 MAN (0,30)	Verificar: Placa de orificio, presión de Flushing ( <b>JOHN CRANE</b> )-Verificar función de válvula (al parecer reguladora) en la línea del plan-Revisar tubería de descarga. Quench tiene tubing de 1/2".
NA	NA	Bomba DP de diafragma-Dosificación, inyección
PLAN 11	PLAN 62	Verificar instalación de quench y placa de orificio en línea del plan
PLAN 11	NA	Opera cuando se requiere alto flujo de Flux, paradas y arrancadas Cambiar tubería por tubing, tiene muchas válvulas.
PLAN 11	NA	Opera cuando se requiere alto flujo de Flux, paradas y arrancadas-Verificar placa de orificio
PLAN 12	NA	Retirar el filtro y colocar platina de orificio de 1/8" en la salida de la línea de descarga. Ubicación inadecuada del filtro.
PLAN 11	NA	Estandarizar plan API 11, tiene tubing , colocar placa de orificio de 1/8"
PLAN 32	NA	No está en sitio-Averiguar si este equipo se requiere, verificar instalación de plan 32
PLAN 11	NA	Verificar placa de orificio, corregir soportes de tuberías de succión y descarga
PLAN 11	62 SIN FACILIDAD	Tiene tubing de 1/2, verificar placa de orificio en línea del plan
PLAN 11	VERIFICAR	Verificar si requiere plan 62, la B si lo tiene ( <b>JOHN CRANE</b> )-Verificar placa de orificio
PLAN 11	62 SIN FACILIDAD	Verificar si tiene placa de orificio y si requiere plan 62, ( <b>JOHN CRANE</b> )
PLAN 13	62 SIN FACILIDAD	Verificar placa orificio y revisar que plan debe llevar ( <b>JOHN CRANE</b> ). <b>Se encuentra en taller por sello</b>
PLAN 13	62 SIN FACILIDAD	Verificar: Placa de orificio, que plan debe llevar ( <b>JOHN CRANE</b> )
(40) PLAN 11	NA	Cambiar tubería por tubing de 1/2 tiene muchas válvulas - No cumple con plan API, verificar placa de orificio.
PLAN 11	NA	Cambiar tubería por tubing de 1/2 tiene muchas válvulas, no cumple con plan API-Verificar placa de orificio.
PLAN 11	62 SIN FACILIDAD	Verificar placa de orificio

Una vez organizada la información para cada planta, se establecieron los equipos en servicio y los equipos fuera de servicio, con el fin de priorizar a la hora de realizar las recomendaciones. Ver gráfica 5.

Gráfica 5. Distribución de Bombas Centrífugas por planta. <sup>[1]</sup>



**Nota:** El estado “en servicio” hace referencia a los equipos que se encuentran operando OK, stand by y operando en falla, mientras que el estado “fuera de servicio”, referencia los equipos que se encuentran stand by en falla y en mantenimiento en taller.

En la grafica 5, podemos observar que la UDC es la planta con mayor cantidad de equipos de bombeo. En esta planta las bombas se ven sometidas a servicios muy pesados y comúnmente se da el mayor número de falla por sellos de toda la refinería.

Para la realización del diagnóstico es indispensable establecer la población de bombas con sello y planes de sellado instalado. Una pequeña cantidad de bombas centrífugas usa empaquetaduras, estos equipos no tienen cabida en el

diagnóstico. La tabla 3, presenta la población de equipos con sello mecánico y plan API instalado por planta.

Tabla 3. Bombas Centrífugas en servicio.<sup>[2]</sup>

<b>Bombas centrífugas en servicio</b>	
<b>Planta</b>	<b>Con Sello y Plan API</b>
UDC	120
URC	83
USI	46
MPP	82
<b>Total GRC</b>	<b>331</b>

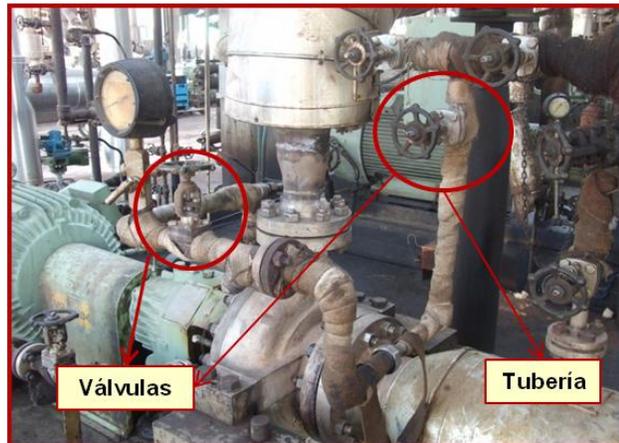
### **3.5 HALLAZGO Y REGISTRO DE NO CONFORMIDADES**

Partiendo de los lineamientos API 682 para los planes de sellado (Ver anexo A), de manera general se mencionan las no conformidades encontradas:

**En los planes de circulación para fluidos limpios**, se encontró como no conformidades, el uso de tuberías con accesorios y válvulas en planes API 11, 12 y 13. Ver figura 6.

Los lineamientos estándar para este tipo de planes establecen configuraciones sencillas donde se usan solamente placa de orificio (planes 11 y 13) y filtro (plan 12) en la instalación. Adicionalmente, se sugiere la circulación del fluido a través de tubing o tubería sin muchos accesorios, omitiendo el uso de válvulas reguladoras, las cuales, para este tipo de planes actuarían como obstáculo para el buen flujo de líquido de la descarga al sello.<sup>[3]</sup>

Figura 6. No conformidades presentes en infraestructura de plan API 11. <sup>[1]</sup>



**En los planes de enfriamiento API 21, 22 y 23 para fluidos calientes,** encontramos Intercambiadores ubicados de forma incorrecta, por debajo de la línea central del eje de la bomba o en forma vertical inadecuada. Ver figuras 7 y 8.

Los lineamientos estándar para la instalación de planes de enfriamiento, establecen el uso de intercambiadores a una determinada altura por encima de la línea central del eje de la bomba, y en una orientación específica (Ver anexo B). <sup>[3]</sup>

Figura 7. Intercambiador instalado inadecuadamente. en plan API 22. <sup>[1]</sup>

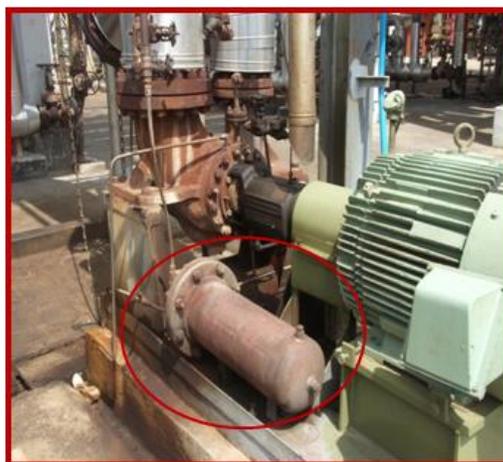


Figura 8. Intercambiador instalado inadecuadamente en plan API 23. <sup>[1]</sup>



Se usan Intercambiadores fuera de especificaciones, como el mostrado en la figura 9. Según especificaciones API 682, se debe usar intercambiador API 682 modelo LHXR-0682-SCS (Ver anexo B). <sup>[3]</sup>

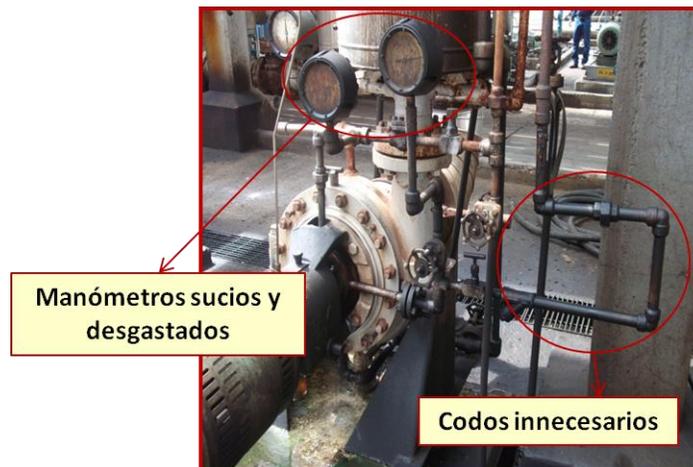
Figura 9. Intercambiador fuera de especificaciones. <sup>[1]</sup>



**En el plan API 32 para inyección de fuente externa de líquido y el plan API 62 para lavado con fluido externo (vapor, agua, etc.) del sello, se encontraron manómetros en mal estado. Adicionalmente, se observa mala instalación de los planes por uso excesivo de codos y accesorios. Ver figura 10. En los lineamientos**

estándar para la instalación de planes API 32 y 62, se habla del uso de manómetros para el monitoreo de la presión con la que entran los fluidos al sello. También, se sugiere el uso de tubing o tubería sin muchos accesorios, omitiendo el uso de codos y configuraciones innecesarias, que obstaculicen el buen flujo del líquido que se inyecta al sello en ambos planes. [3]

Figura 10. Planes API 32 y 62 instalados inadecuadamente. [1]



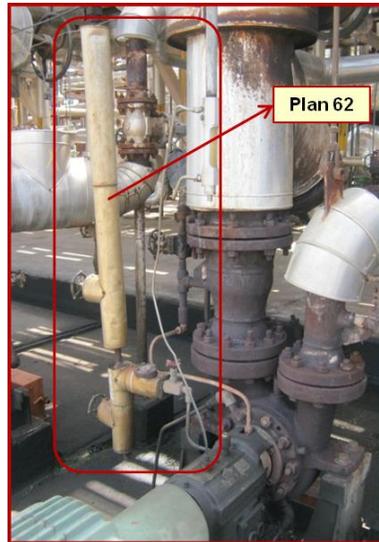
Encontramos fugas de producto lubricante por las conexiones y elementos del plan API 32. Ver figura 11.

Figura 11. Fugas por conexiones y elementos del plan API 32. [1]



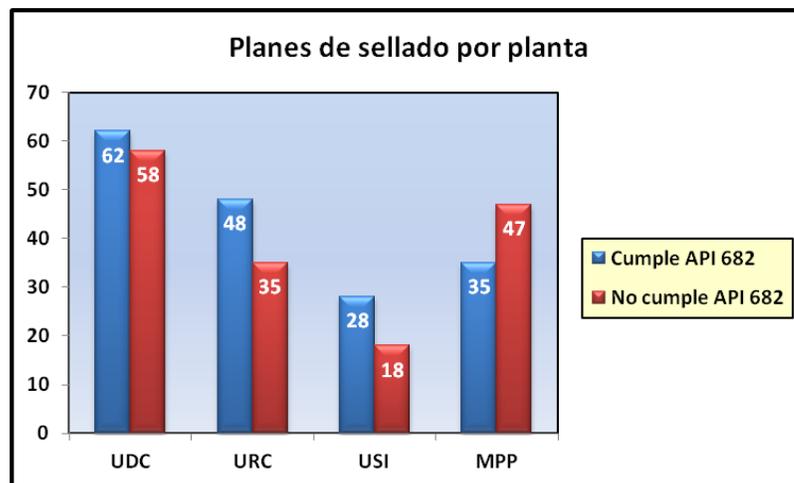
Tenemos planes API 62 sin la instrumentación adecuada en la instalación. No tienen manómetros y no cuentan con facilidades para la instalación de los mismos. Ver figura 12. La configuración del plan 62 según API requiere un manómetro para monitoreo de la presión de entrada del fluido de lavado al sello. <sup>[3]</sup>

Figura 12. Línea de plan API 62 sin facilidad para instalar manómetro. <sup>[1]</sup>



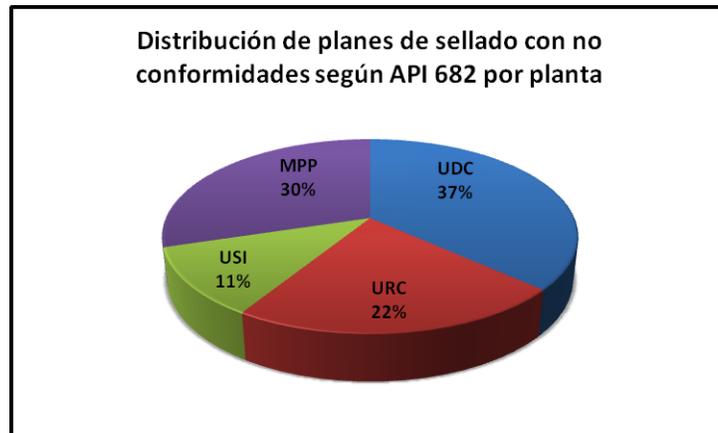
De manera general, tenemos la cantidad de planes de sellado que cumplen y que no cumplen con los lineamientos de la norma API 682 3ra Edición. Ver gráfica 6:

Gráfica 6. Distribución Planes de sellado por planta. <sup>[1]</sup>



En UDC encontramos la mayor cantidad de planes en condiciones subestándar según norma API 682, los cuales representan un 37% (58 de 158 equipos) de los planes totales con no conformidades. Ver gráfica 7.

Gráfica 7. Distribución de Planes de sellado con no conformidades por planta. <sup>[1]</sup>



Las no conformidades más comunes se presentan por el uso de tubería con válvulas y exceso de accesorios en los planes 11 y 12, instalación inadecuada de intercambiadores en planes de enfriamiento y la carencia de elementos (filtro, cheque, manómetros) en planes de inyección de fluido externo, planes 32 y 62.

## 4. SELECCIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO

### 4.1 PROPUESTAS DE RECOMENDACIÓN

Partiendo de los hallazgos obtenidos en el diagnóstico, se seleccionaron acciones de mejoramiento que se constituyen en tareas correctivas y preventivas para cada plan de sellado, las cuales fueron documentadas como recomendaciones en 4 memorandos que serán destinados al personal de operaciones y mantenimiento de cada una de las 4 plantas de la refinería (Ver anexo C).

#### 4.1.1 Metodología para selección de acciones

Para describir el proceso usaremos un equipo de la planta UDC:

##### **Identificación del equipo y servicio**

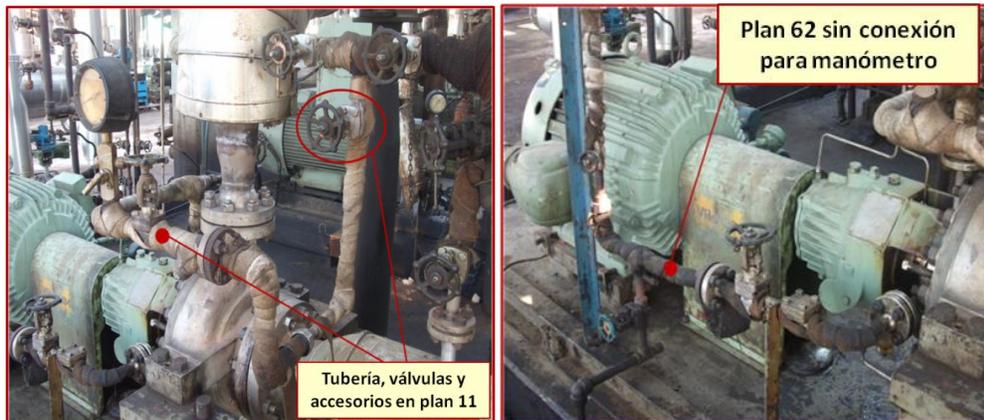
TAG: VRP204B

SERVICIO: Bomba de circulación A.C.P.M. del Tambor 301.

##### **Inspección**

Actualmente la bomba trabaja con un sello sencillo y tiene instalados los planes de sellado API 11 para lubricación y API 62 como plan auxiliar para lavado del sello y manejo de fugas. El plan 11 usa válvula reguladora, filtro, exceso de accesorios (codos de tubería) y el fluido para la lubricación circula desde la descarga al sello a través de una tubería de 1". Adicionalmente, el plan 62 no tiene manómetro, y no cuenta con facilidad (conexiones de manómetro) para su instalación.

Figura 13. No conformidades en planes API 11 y 62. <sup>[1]</sup>



### **Revisión de no conformidades y las consecuencias generadas en los planes de sellado API del equipo VRP204B:**

El plan 11 no cumple con el estándar ya que la instalación tiene exceso de instrumentación (válvulas, accesorios y tubería), que puede obstaculizar la circulación de fluido lubricante hacia las caras del sello. Según la norma API 682, para la instalación del plan 11 solo se requiere tubing para hacer la circulación de lubricante, y una placa orificio para restringir el flujo lo suficiente para que el fluido llegue en forma adecuada a la caja del sello. <sup>[3]</sup>

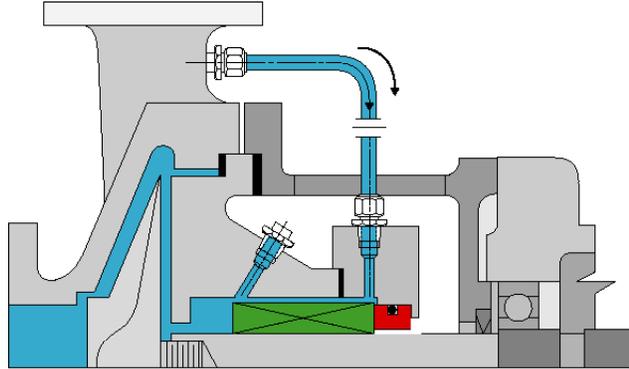
El plan 62 no cumple con el estándar, ya que la configuración típica según la norma API 682 establece un manómetro para monitorear la presión con que entra el fluido de lavado al sello. El plan 62 instalado en el equipo no tiene manómetro, y no presenta facilidades para su instalación. <sup>[3]</sup>

### **Recomendación:**

- ✓ **Estandarizar plan 11 de acuerdo a configuración típica establecida por API 682 3ra edición.**

El plan 11 según la 3ra. Actualización de la norma API 682, debe tener la siguiente configuración:

Figura 14. Configuración estándar plan API 11. <sup>[6]</sup>



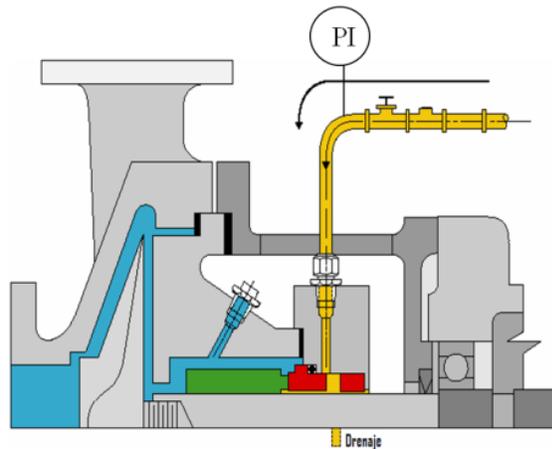
Circulación desde la descarga de la bomba hasta la conexión en la brida del sello por una tubería o Tubing de diámetro mayor o igual a 3/8". Si el diferencial de presión entre la caja de sello y la descarga es igual o superior a los 50 psig debe tener una platina orificio de 1/8", con el propósito de disminuir la presión de entrada del fluido lubricante al sello. <sup>[3]</sup>

- ✓ **Estandarizar plan 62 de acuerdo a configuración típica establecida por API 682 3ra edición.**

El plan 62, según la 3ra. Actualización de la norma API 682, debe tener la siguiente configuración:

Conexiones para Lavado y Drenaje para efectuar lavado con vapor seco a una presión de 3 a 5 psi. <sup>[3]</sup>

Figura 15. Configuración estándar plan API 62. [6]



Se deben realizar las siguientes verificaciones para la correcta instalación del plan API 62:

- Accesorio: Válvula Check, manómetro, válvula de Bloqueo. [3]
- Verificar que la válvula Check opere correctamente. [3]
- Verificar que el vapor sea seco e inyectado a una presión de 3 a 5 psi. [3]
- Verificar que el Manómetro tenga un rango de presión adecuado (0 a 50 psi). [3]

**Nota:** La labor anterior, descrita en el numeral 4.1.1, se hizo extensiva a lo largo de las cuatro plantas principales (UDC, URC, USI y MPP), para cada una de los planes de sellado instalados.

La tabla 4 muestra las no conformidades más comunes presentes en la infraestructura de los planes de sellado, y las consecuencias generadas sobre el funcionamiento de los mismos y la operación del sello mecánico.

Tabla 4. Consecuencias generadas por no conformidades en planes API.<sup>[1]</sup>

N°	NO CONFORMIDAD	CONSECUENCIA
1	Exceso de instrumentación (uso de válvulas, accesorios y tubería)	Dificultan la correcta circulación del fluido lubricante o de lavado, hacia la caja de sellado.
2	Ausencia de instrumentación (filtro, placa de orificio, válvula de stop-check, Manómetro, termómetro bimetálico, líneas de venteo y drenaje)	Imposibilita llevar un buen control de las condiciones de operación del sello mecánico.
3	Inadecuada configuración en la instalación (exceso de codos, trayectorias innecesarias de fluido lubricante)	Dificultan la correcta circulación del fluido de lubricante o de lavado, hacia la caja de sellado.
4	Intercambiador mal instalado y/o fuera de especificaciones	El tiempo de recorrido del fluido de lubricante al interior del intercambiador es inadecuado. No se muestra un delta de temperatura adecuado entre el líquido que llega y sale del enfriador.
5	Fugas de producto lubricante	Sobrecostos en mantenimiento por pérdidas de fluido lubricante. Sello expuesto a sobrecalentamiento por falta de lubricación.
6	Medidores de presión y temperatura (Manómetro, Termómetro Bimetálico) en mal estado	Obstaculiza el buen control de las condiciones de operación del sello mecánico.
7	Anomalías en Reservoirio de líquido barrera	Imposibilita llevar buen control de las condiciones de operación del líquido barrera, Este líquido es usado para evitar fugas de fluidos peligrosos.

Tomando como referencia la convención establecida para no conformidades de la tabla 4; en las tablas 5, 6, 7 y 8 se presentan de manera resumida por planta los resultados del diagnóstico, mostrando las no conformidades en la infraestructura de cada plan de sellado y haciendo referencia a la configuración típica de los planes de acuerdo a la norma API 682 3ra Edición (Ver anexo A), como acciones recomendadas de estandarización y eliminación de no conformidades.

Tabla 5. Diagnóstico y recomendaciones planes API UDC. <sup>[1]</sup>

EQUIPO	PLAN DE SELLADO	NO CONFORMIDAD			ACCIÓN RECOMENDADA
PSP313A/B	12	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 12
	62	1	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP301	12	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 12
	62	1	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP403A/B	11	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
PSP16	12	1	3		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 12
PSP310A/B	11				Ninguna
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP304A/B	13				Ninguna
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP8	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
PSP315A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP404A/B	32	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP14	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
PSP314	22	4	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 22
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP402A/B/C	32	5			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP405	32	5			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP401	32	2	3	5	Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP11A/B	32	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
PSP202A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP302A/B	21	2	4		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 21
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP312A/B	32	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	3			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP308A/B	32	3	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP303A/B	32	3	2	6	Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
PSP305A/B	11	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62

Tabla 5. Diagnóstico y recomendaciones planes API UDC (Continuación).<sup>[1]</sup>

EQUIPO	PLAN DE SELLADO	NO CONFORMIDAD			ACCIÓN REQUERIDA
VRP20	32	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
VRP206A/B	32	2	3	6	Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
VRP212A/B	23	2	4		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 23
VRP201A/B	32	4			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
VRP203A/B	11				Ninguna
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
VRP11A/B/C	23	2	4		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 23
VRP202A/B	12	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 12
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
VRP3A/B	11				Ninguna
VRP205A/B	32	1	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	1	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
VRP9A/B	32	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
VRP204A/B	11	1	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62

Tabla 6. Diagnóstico y recomendaciones planes API URC. <sup>[1]</sup>

EQUIPO	PLAN DE SELLADO	NO CONFORMIDAD			ACCIÓN REQUERIDA
FFP551A/B/C	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
FFP561A/B	32				Ninguna
	62	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
FFP560A/B	32	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
FFP565A/B	11				Ninguna
	52	6			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 52
FFP558A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	52	7			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 52
FFP553A/B	32	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
FLP2109	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
FLP609A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
FLP605A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
FLP601A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
SUP1A/B	53	6	7		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 53
SUP2A/B	53	7			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 53
NPP104A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
NPP3014	13				Ninguna
	52	7			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 53
NPP3010A/B	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
NPP3011A/B	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
NPP9A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
NPP3007A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11

Tabla 7. Diagnóstico y recomendaciones planes API USI. <sup>[1]</sup>

EQUIPO	PLAN DE SELLADO	NO CONFORMIDAD			ACCIÓN RECOMENDADA
SPP1A/B/C/D/E	23	2	4	6	Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 23
SPP2A/B/C	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
SPP5A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
SPP1301A/B	11	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
SPP1303A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
SPP10309	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
SPP1306A/B/C	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11

Tabla 8. Diagnóstico y recomendaciones planes API MPP. <sup>[1]</sup>

EQUIPO	PLAN DE SELLADO	NO CONFORMIDAD			ACCIÓN REQUERIDA
GBP3400	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
GBP3101	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
GBP3100	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
GBP3600	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3500	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3400	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3301	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3300	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3201	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3200	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3101	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3100	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
DBP3600	13	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	61				Ninguna
GI2P2A	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	62	2			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
GI2P7A/B/C	11	1	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	62	1	2	6	Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 62
GI2P105	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
GI2P5	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
GI2P1	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
GI2P6A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
GI2P3A/B	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
PPP2001	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
PPP2002	11	1			Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11

Tabla 8. Diagnóstico y recomendaciones planes API MPP (Continuación).<sup>[1]</sup>

EQUIPO	PLAN DE SELLADO	NO CONFORMIDAD		ACCIÓN REQUERIDA
CBP1000A/B/C	11	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
GB1P1008A/B	11	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	52	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 52
GI2P4A/B/C/D/E	11	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	52	6		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 52
GI2P4F	13	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	52	7		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 52
GI2P3013	11	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 11
	52	7		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 52
GI2P202A/B	13	1		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 13
	52			Ninguna
GXP1001A/B	32	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
GXP1002A/B	32	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
GXP1	32	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
GXP2	32	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32
GXP3	32	2		Estandarizar de acuerdo a configuración típica Plan API 32

## 4.2 RESULTADOS ESPERADOS

Con la implementación de las acciones de mejora recomendadas para los planes de sellado se espera:

- Reducir las fallas por sellos mecánicos y mejorar la confiabilidad de las bombas centrífugas, mediante la creación de un ambiente adecuado para la operación de los sellos mecánicos.
- Mediante la buena instalación del plan de sellado, monitorear de forma óptima las condiciones de operación del sello mecánico.
- Con la adecuada instalación de los planes de sellado de seguridad y planes auxiliares, garantizar un buen manejo de emisiones o fugas en procesos que involucren aplicaciones de fluidos peligrosos (Ácidos y Cáusticos, Tóxicos y Cancerígenos, Explosivos e Inflamables), brindando seguridad a la integridad física de los operadores y del medio ambiente.
- Contribuir al mayor tiempo de corrida de los equipos de bombeo, menos pérdidas en la producción por paradas indeseadas y menos sobrecostos en mantenimiento correctivo por reparaciones de sellos mecánicos.
- Poner en conocimiento de los operadores de las plantas, la importancia de los planes API en la protección de los sellos mecánicos y que mediante la revisión continua de las condiciones de operación del sello, ellos estén en capacidad de auto diagnosticar el funcionamiento del plan de sellado, convirtiéndose así en los primeros mantenedores del sello mecánico.

## 5. CONCLUSIONES

La realización de este proyecto dio inicio a un proceso de mejora continua sobre los sistemas de protección de sellos mecánicos (planes de sellado), con miras a contribuir al mejoramiento de la confiabilidad de las bombas centrífugas de la refinería de Cartagena. Adicionalmente:

Por medio de las visitas a las plantas industriales de la refinería, el acompañamiento de ingenieros de equipo rotativo de la empresa y proveedores de sellos mecánicos, se logró interactuar directamente con bombas centrífugas en operación y se adquirieron conocimientos teórico-prácticos sobre la estructura y principio de funcionamiento de las bombas centrífugas y los sellos mecánicos, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de lubricación y enfriamiento de sellos mecánicos (planes API).

Mediante las propuestas de acciones de recomendación se puso a consideración de la Refinería de Cartagena la oportunidad de acogerse a las especificaciones establecidas por la norma API 682 3ra Edición para la configuración e instalación de los planes de sellado API.

Se adquirió la capacidad de diagnosticar y recomendar la instalación de un plan de sellado API para cualquier aplicación de una bomba centrífuga en refinerías o plantas industriales.

Se evidenció la importante necesidad del diagnóstico y la inspección como herramientas preventivas para determinar no conformidades, defectos o anomalías, dentro de un proceso de mejora continua en una empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

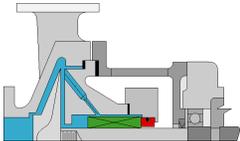
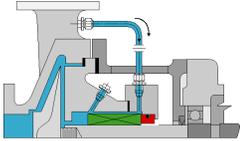
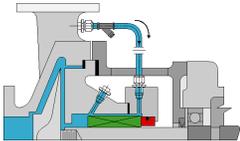
1. ACEVEDO WARNER, Iván Ricardo. Informe final de prácticas profesionales.1P-2011 Equipo Rotativo Refinería de Cartagena. Ecopetrol. 2011. 25 diapositivas: col.
2. ACEVEDO WARNER, Iván Ricardo. Apuntes sobre Bombas Centrífugas, Sellos mecánicos y Planes de sellado. 2011.
3. API Standard 682, Pumps—Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps, Third Edition, 2004.
4. ECOPETROL-REFINERÍA DE CARTAGENA. Descripción general de procesos. 1998.
5. ECOPETROL-REFINERÍA DE CARTAGENA. Files (Archivos de equipos) Coordinación de confiabilidad. 1998-2011.
6. JHON CRANE. Manual Teoría Básica de Sistemas de Lubricación y Enfriamiento (Planes API). John Crane Colombia S.A. Inc., 2004. 111 diapositivas: col.
7. JHON CRANE. Manual Capacitación de sellos mecánicos. John Crane Colombia S.A. Inc., 1999. 118 diapositivas: col.
8. PÉREZ TAYLOR PONCE DE LEÓN, Alberto. Aplicación de sellos mecánicos en bombas centrífugas de proceso. Instituto Politécnico Nacional. Azcapotzalco-México, 2010. 123p. Internet:  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/7227/1/40.pdf>

9. PERSONAL EQUIPO ROTATIVO COORDINACIÓN DE CONFIABILIDAD REFINERÍA DE CARTAGENA. Informe de gestión de confiabilidad 2010 de equipo rotativo de la Refinería de Cartagena. Ecopetrol, 2010. 15p.
10. SÁNCHEZ VALENCIA, José Roberto. Estudio técnico para la selección de un sello mecánico para una bomba que maneja nafta en una refinería. Coatzacoalcos, Veracruz-México. Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias químicas, 2009. 99p. Internet:  
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/926/1/Jose%20Roberto%20Sanchez%20Valencia.pdf>
11. TONA, Heriberto. Manual de Sellos Mecánicos, Módulos de entrenamiento John Crane. Colombia. Editorial Gerencia de Ingeniería John Crane Colombia S.A., 2005. 42p.
12. UOP. Manual de entrenamiento. TYRO-Training Your Refinery Operators. Illinois U.S.A. Editorial UOP Inc.1978. 593p.

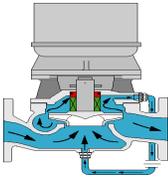
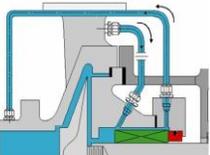
## **ANEXOS**

## Anexo A. Configuraciones planes de sellado API

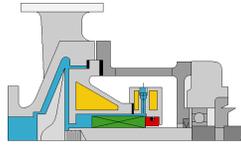
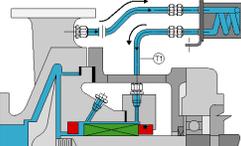
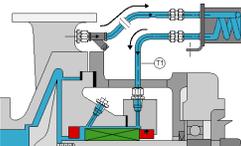
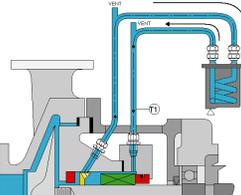
### Aplicaciones para fluidos limpios: circulación

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<p><b>PLAN 01</b></p> 	<p>Circulación Integral. El sello es lubricado y enfriado con el movimiento del bombeo.</p>	<p>Ninguna</p>	<p>Ninguna. La cantidad del flujo depende del diferencial de presión entre succión y descarga de la bomba, cualquier modificación de la bomba afectaría el plan.</p>
<p><b>PLAN 11</b></p> 	<p>Circulación desde la descarga de la bomba hasta las caras de sello, pasando por una Placa Orificio (Agujero de Restricción).</p>	<p>Placa Orificio</p>	<p>Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo si la presión de descarga de la bomba sobrepasa las 50 psi.</p>
<p><b>PLAN 12</b></p> 	<p>Circulación desde la descarga de la bomba hasta las caras de sello, pasando por un filtro y una Placa Orificio (Agujero de Restricción).</p>	<p>Placa Orificio Filtro en "Y"</p>	<p>Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo si la presión de descarga de la bomba sobrepasa las 50 psi.</p> <p>Verificar que el filtro no se encuentre obstruido.</p>

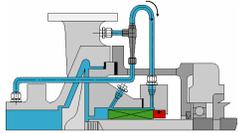
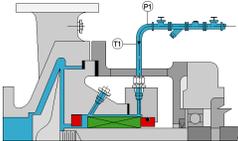
Aplicaciones para fluidos limpios: circulación (Continuación)

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<p><b>PLAN 13</b></p> 	<p>Circulación desde la cavidad de sellado hasta la succión, pasando por una Placa Orificio (Agujero de Restricción).</p>	<p>Placa Orificio</p>	<p>Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo.</p>
<p><b>PLAN 14</b></p> 	<p>Circulación desde la descarga hasta la cavidad de sellado pasando por de una placa orificio y desde la cavidad de sellado hasta la succión.</p>	<p>Placa Orificio</p>	<p>Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo.</p>

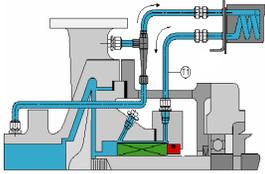
Aplicaciones para fluidos a temperatura: enfriamiento

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<p><b>PLAN 02</b></p> 	<p>Uso de chaqueta de enfriamiento o calentamiento en la cavidad de sellado o en la brida con conexiones taponadas para cuando se requiera su uso.</p>	<p>Chaqueta de enfriamiento en la bomba o en la brida del sello.</p>	<p>Verificar que el líquido que se inyecta a la chaqueta de enfriamiento se encuentre a la temperatura adecuada.</p>
<p><b>PLAN 21</b></p> 	<p>Circulación desde la descarga hasta la cavidad de sellado pasando por de una placa orificio y un intercambiador de calor.</p>	<p>Placa Orificio Intercambiador de Calor Termómetro Bimetálico</p>	<p>Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo.  Verificar que el intercambiador no se encuentre obstruido y que la temperatura del líquido que sale del intercambiador se encuentre 10°C o 50°F mínimo por debajo de la temperatura de vaporización del producto.</p>
<p><b>PLAN 22</b></p> 	<p>Circulación desde la descarga hasta la cavidad de sellado pasando por de una placa orificio, un filtro y un intercambiador de calor.</p>	<p>Placa Orificio Filtro en "Y" Intercambiador de Calor Termómetro Bimetálico.</p>	<p>Verificar que tenga instalada la Placa Orificio de 1/8" mínimo y limpieza del filtro.  Verificar que el intercambiador no se encuentre obstruido y que la temperatura del líquido que sale del intercambiador se encuentre 10°C o 50°F mínimo por debajo de la temperatura de vaporización del producto.</p>
<p><b>PLAN 23</b></p> 	<p>Circulación forzada por un anillo de bombeo desde la caja de sellado pasando por un intercambiador de calor y retornando a la caja de sellado.</p>	<p>Anillo de Bombeo Intercambiador de Calor Termómetro Bimetálico.</p>	<p>Verificar que la altura del intercambiador se encuentre de 18" a 24" por encima del eje de la bomba, que el intercambiador no se encuentre obstruido y que la temperatura del líquido que sale del intercambiador se encuentre 10°C o 50°F mínimo por debajo de la temperatura de vaporización del producto.</p>

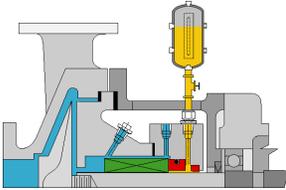
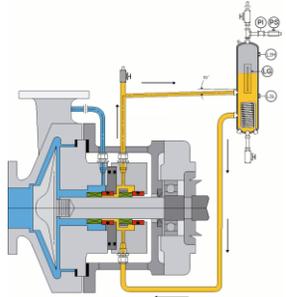
### Aplicaciones para fluidos abrasivos: lubricación

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<b>PLAN 31</b> 	Circulación desde la descarga de la bomba hasta la caja de sellado pasando por un separador ciclónico, el fluido con sólidos es devuelto a la succión.	Separador Ciclónico	Verificar que el separador ciclónico sea el adecuado para la concentración de sólidos y el tamaño de las partículas.
<b>PLAN 32</b> 	Inyección de fuente externa de líquido limpio compatible con el producto bombeado a una presión de 30 psi (2 bar) por encima de la presión en la cavidad de sellado.	Válvula reguladora de presión  Válvula check, Válvula de bloqueo  Filtro en "Y"  Manómetro y Flujómetro.	Verificar que la presión este regulada a 30 psi (2 bar) por encima de la presión en la cavidad de sellado.  Verificar que la válvula check y la válvula de bloqueo se encuentren operando correctamente.  Verificar que el manómetro y el flujómetro tengan el rango y los materiales apropiados para el servicio.

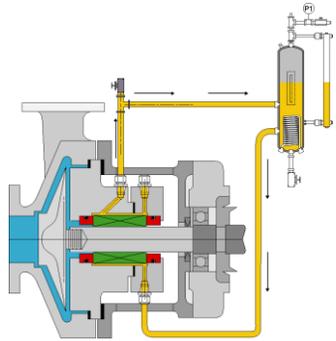
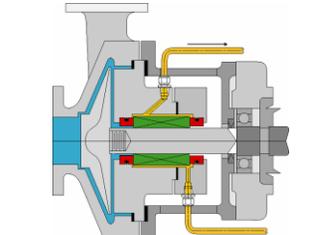
### Aplicaciones para fluidos abrasivos a alta temperatura: lubricación y enfriamiento

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<b>PLAN 41</b> 	Circulación desde la descarga de la bomba hasta la caja de sellado pasando por un separador ciclónico y un intercambiador de calor.	Separador Ciclónico  Intercambiador de Calor  Termómetro Bimetálico.	Verificar que el separador ciclónico sea el adecuado para la concentración de sólidos y el tamaño de las partículas.  Verificar que el intercambiador no se encuentre obstruido, y que la temperatura del líquido que sale del intercambiador se encuentre 10°C o 50°F mínimo por debajo de la temperatura de vaporización del producto.

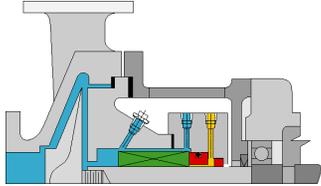
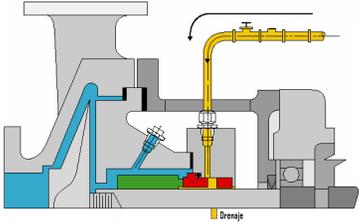
## Aplicaciones para fluidos peligrosos: seguridad

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<p><b>PLAN 51</b></p> 	<p>Columna estática de líquido no presurizado a través de la conexión de quench de la brida en arreglo de sello sencillo.</p>	<p>Reservorio Placa Orificio Manómetro interruptor de presión</p>	<p>Verificar que el manómetro tenga el rango apropiado para el servicio.</p> <p>Verificar que el interruptor de presión se encuentre calibrado para punto de disparo entre 10 y 20 psi subiendo.</p> <p>Verificar que el interruptor de presión se active cuando no se observe nivel de líquido en la mirilla del reservorio.</p>
<p><b>PLAN 52</b></p> 	<p>Circulación forzada a través de un anillo de bombeo o por efecto termosifónico de líquido de barrera no presurizado contenido en un reservorio.</p>	<p>Reservorio Placa Orificio Manómetro interruptor de Presión, Válvulas de bloqueo para venteo y drenaje.</p>	<p>Verificar que el manómetro tenga el rango apropiado para el servicio.</p> <p>Verificar que el interruptor de presión se encuentre calibrado para punto de disparo entre 10 y 20 psi subiendo. El sistema no es presurizado y debe estar venteado. La válvula de venteo debe estar abierta. El sistema debe tener una placa orificio en la línea de venteo.</p> <p>Verificar que líquido circule correctamente. Entrada al sello por la parte inferior y salida por la parte superior. La tubería de salida debe estar más caliente que la tubería de entrada.</p>

### Aplicaciones para fluidos peligrosos: seguridad (Continuación)

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<p><b>PLAN 53</b></p> 	<p>Circulación forzada a través de un anillo de bombeo o por efecto termosifónico de líquido de barrera presurizado contenido en un reservorio.</p>	<p>Reservorio</p> <p>Manómetro</p> <p>interruptor de Presión</p> <p>interruptor de nivel</p> <p>Válvulas de bloqueo para venteo y drenaje</p> <p>Sistema de presurización con Nitrógeno</p>	<p>Verificar que el manómetro tenga el rango apropiado para el servicio.</p> <p>Verificar que el interruptor de presión se encuentre calibrado bajando para que se active 5 psi por encima de la presión del líquido de barrera. La presión del líquido de barrera debe estar 30 psi (2 bar) por encima de la presión en la cavidad de sellado.</p> <p>Verificar que el interruptor de nivel se active cuando no se observe líquido en la mirilla del reservorio.</p> <p>Verificar que líquido circule correctamente. Entrada al sello por la parte inferior y salida por la parte superior. La tubería de salida debe estar más caliente que la de entrada.</p>
<p><b>PLAN 54</b></p> 	<p>Inyección de fuente externa de líquido de barrera presurizado.</p>	<p>Sistema de presurización externa.</p>	<p>Verificar que la presión del líquido de barrera se encuentre a 30 psi (2 bar) por encima de la presión en la cavidad de sellado.</p> <p>Verificar que líquido circule correctamente. Entrada al sello por la parte inferior y salida por la parte superior.</p>

### Aplicaciones para lavado y tratamiento de fugas

API PLANES	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS	VERIFICACIONES
<p><b>PLAN 61</b></p> 	<p>Conexiones para Venteo y Drenaje taponados para ser utilizadas cuando el cliente lo requiera.</p>	<p>La brida tiene conexiones para Venteo y Drenaje con un Buje de restricción de Bronce.</p>	<p>Ninguna</p>
<p><b>PLAN 62</b></p> 	<p>Conexiones para Lavado y Drenaje para efectuar lavado con fluido externo (vapor, agua, etc.)</p>	<p>Válvula Check  Válvula de Bloqueo  Manómetro</p>	<p>Verificar que la válvula Check opere correctamente.</p> <p>Verificar que el fluido a inyectar sea vapor seco y que la presión de inyección este entre 3 y 5 psi.</p> <p>Verificar que se tenga instalado en el sistema una trampa de vapor.</p> <p>Verificar que manómetro tenga rango de presión adecuado (0 a 50 psi).</p>

## **Anexo B.** Recomendaciones para adecuada instalación de Intercambiadores

Para planes API de enfriamiento utilizar intercambiadores de calor especificados por las normas ANSI B.73 o API 682:

Intercambiadores especificados por la norma API 682

Intercambiador enfriado por agua



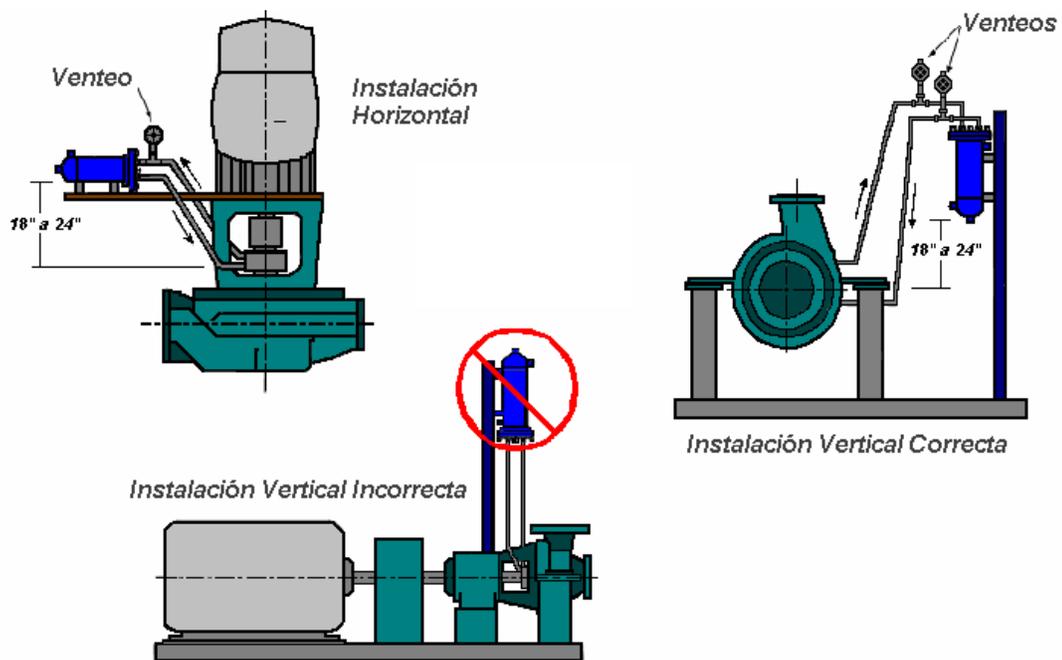
Intercambiador enfriado por aire



### Características de instalación:

- Instalar intercambiador de calor preferiblemente en posición vertical.
- Distancia vertical: de 18" a 24" sobre el centro del eje.
- Distancia horizontal: la menor posible.
- Reducir la cantidad de curvas y codos con ángulos agudos.
- Proveer el sistema con venteos.
- Instalar un intercambiador por sello mecánico instalado en la bomba.

### Instalación del intercambiador



## Anexo C. Imágenes Memorando Planes API UDC



### MEMORANDO

Cartagena, 25 de Abril de 2011

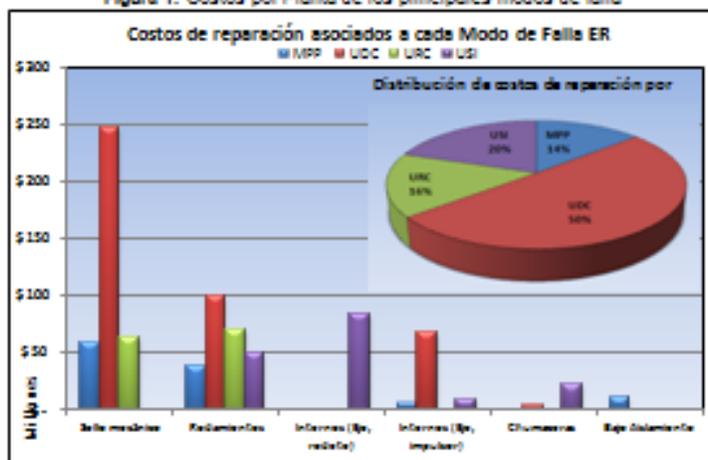
PARA:

DE:

ASUNTO: **ESTANDARIZACIÓN DE PLANES API UDC**

A partir del Informe anual 2010 de Equipo Rotativo se evidenció como modo de falla predominante en la Unidad de Destilación Combinada (UDC) el modo de falla por sellos mecánicos, el cual estuvo asociado a los mayores costos de reparación originados en la UDC, con un 30% de los costos totales (Ver figura 1).

Figura 1. Costos por Planta de los principales modos de falla



Tomado de Informe de gestión de confiabilidad Equipo Rotativo 2010

La vida útil de los sellos mecánicos se ve reducida por la mala implementación de los sistemas de protección de los sellos (planes API). Con base en lo anterior se generó el siguiente plan de acción: Estandarizar los planes de sellado de acuerdo a la norma API 682 3ra Edición, en la UDC.

Ejemplo de formato para inspección y recomendación de los planes de sellado instalados en cada planta de la refinería.



**P&P11A: Bomba de gases a la planta de crudo.**

**Inspección:** Actualmente la bomba tiene instalados los planes de sellado API 12 (flushing) y API 62 (quench), los cuales no cumplen con los estándares según norma API 682 (Ver anexo 1). La instalación del plan 12 usa tubería, válvula reguladora y accesorios (Ver figura 2) que dificultan la correcta circulación del fluido de proceso hacia la caja de sellado. Cabe anotar que el plan API 12 no es muy utilizado por riesgo de taponamiento del filtro y las dificultades para verificar dicha condición subestándar, lo que podría ocasionar falla del sello por mala lubricación; por esta razón se debe verificar el estado de cada elemento instalado. El plan 62 usa tubería y accesorios.

El equipo carece de PI en la línea de succión y no cuenta con la facilidad para su instalación.

Figura 2. Línea del plan 12 usa tubería de 1" y accesorios.



**Recomendación:**

1. Estándarizar plan de sellado para flushing de acuerdo a recomendación AI-XXXX: Plan API 12.
2. Estándarizar plan de sellado para quench de acuerdo a recomendación AI-2088: Plan API 62.
3. Instalar facilidad para PI en tubería de succión de la bomba.