



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

"ESPECIFICACION Y SELECCION DE  
SELLOS MECANICOS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS"

TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA:

OSCAR ARTURO FLORES ALEMAN

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

San Juan de Aragón, Edo. de México; Marzo de 1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

OSCAR ARTURO FLORES ALEMÁN  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 3 de noviembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. ARQUIMEDES SOLIS TÉLÉZ pueda dirigir el trabajo de Tesis denominado "ESPECIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE SELLOS MECÁNICOS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México., 13 de noviembre de 1995

EL DIRECTOR

M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/11a.

**DEDICO ESTE TRABAJO A:**

**MI MADRE:**

Con la más profunda gratitud, por su confianza, dedicación, muestra de cariño y gran apoyo a lo largo de toda mi vida.

**MI PADRE:**

Porque a través de su ejemplo de rectitud y dedicación me impulsa a realizar todos mis anhelos.

**MI ESPOSA:**

A quien con su cariño y múltiples consejos, me llevaron a la conclusión de mi formación profesional.

**MI HIJO OSCAR DAVID:**

Con todo mi cariño y mis mejores deseos de que logre todas sus aspiraciones.

**MI HERMANA:**

Con la esperanza de que la aliente a continuar con el logro de sus objetivos.

**MI ASESOR DE TESIS: Ing. Arquímedes Solís Tellez.**

Por su desinteresado apoyo y gran comprensión en la realización de éste trabajo.

**LA UNIVERSIDAD, MAESTROS, COMPAÑEROS DEL IMP, Y AMIGOS:**

Quienes me brindaron su amistad y apoyo incondicional, en mi vida de estudiante y mi formación profesional.



## INDICE GENERAL

CAPITULADO.	PAGINA
INDICE GENERAL.	1
INTRODUCCION.	3
I. GENERALIDADES.	5
I.1. Clasificación general de las bombas.	5
I.2. Partes principales de una bomba centrífuga.	8
II. DISPOSITIVOS DE SELLADO.	15
II.1. Empaquetadura.	16
II.2. Como funciona una empaquetadura.	18
II.3. Tipos de empaquetadura.	19
II.4. Selección dimensional de las empaquetaduras.	24
II.5. Empacado de una bomba centrífuga.	25
II.6. Arranque de la bomba.	27
II.7. Inconvenientes en el uso de empaquetaduras.	29
III. ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO.	30
III.1. Clasificación de sellos mecánicos.	32
III.2. Porque es recomendable emplear sellos balanceados.	42
III.3. Fuerzas actuantes en las caras del sello y relación de balance.	44
III.4. Presión en la cámara del sello, según el diseño del impulsor.	49
III.5. Propiedades de los líquidos y condiciones de operación que afectan en la selección de un sello mecánico.	51



III.6. Clasificación de sellos mecánicos de acuerdo a la norma API-610, 7ª Ed.	58
III.7. Lubricación.	64
III.8. Planes de lubricación.	64
III.9. Como evitan los sellos múltiples que fugue el líquido bombeado.	69
III.10. Planes de enfriamiento.	71
III.11. Materiales de construcción.	73
III.12. Características de la brida del sello.	79
III.13. Accesorios.	82
<b>IV. SELECCION DEL SELLO MECANICO.</b>	<b>93</b>
IV.1. Características del fluido a sellar.	93
IV.2. Características del equipo.	94
IV.3. Nomenclatura de identificación de sellos mecánicos.	97
IV.4. Recomendaciones para la instalación de un sello mecánico.	116
IV.5. Causas comunes de falla en un sello.	119
IV.6. Análisis de fallas.	120
IV.7. Determinación de la falla a través de la localización de la fuga.	123
<b>V. EJEMPLO DE APLICACION.</b>	<b>125</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>153</b>
<b>VII. ANEXO.- MANUAL DE SELECCION DE MATERIALES PARA SELLOS MECANICOS (BORG-WARNER).</b>	<b>155</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>169</b>



## **INTRODUCCION :**

En el transcurso de la historia, las bombas han ocupado un lugar prominente en el progreso de la humanidad.

En un principio, los sistemas de bombeo, permitieron a las civilizaciones alejarse de ríos y manantiales, desarrollándose en vastas zonas de terreno que anteriormente eran inhabitables.

Hoy en día, la aplicación de las bombas se ha extendido de tal forma, que las podemos encontrar en las industrias, comercios, casas habitaciones e incluso en servicios tan sofisticados como lo es para el arranque y movimiento de naves espaciales.

Las bombas en la industria petroquímica, son pieza fundamental para la continua operación de la planta. No existe proceso que por lo menos requiera del uso de una bomba, ya sea para la extracción, transformación, refinación e incluso el traslado del producto.

Debido a su gran importancia, el buen funcionamiento de éstos equipos se hace necesario; pero esto no ocurre así. Se ha encontrado que las causas más frecuentes y peligrosas de fallas en las bombas , son ocasionadas por fallas en el sello mecánico.

Las fallas suelen ser por errores de instalación, mala especificación del sello, es decir, no es el adecuado para el servicio; problemas por el diseño básico del mismo y contaminación del líquido en el prensaestopas, lo que ocasiona altos costos de mantenimiento y pérdidas de producción de varios miles de nuevos pesos; e incluso provocar un incendio.



**Por lo que es conveniente conocer el funcionamiento, partes de que se compone y los fundamentos para hacer la selección más propia del sello mecánico y los materiales más adecuados del mismo, dependiendo las condiciones de operación.**

**Cerca del 70 % de los Equipos de Bombeo que se utilizan en la Industria Petroquímica son del tipo Centrifugo, por lo que el estudio de los sellos será en base a éste tipo de Bomba.**





## **I. GENERALIDADES.**

Una bomba centrífuga, es una máquina transformadora de energía. Recibe la energía mecánica de un accionador que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, posición y velocidad.

De esta forma, existen bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozo profundo que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie. El ejemplo de bombas que adicionan energía de presión, ocurre en el caso de un oleoducto, con cotas de altura, diámetros de tubería y consecuentemente velocidades iguales, donde la bomba incrementa la presión para poder vencer las pérdidas por fricción que se tuviesen en la conducción. Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad.

En la mayoría de las aplicaciones, la energía conferida por una bomba, es una mezcla de las tres, las cuales, se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos.

## **II. CLASIFICACION GENERAL DE LAS BOMBAS.**

Los equipos de bombeo se clasifican, según dos consideraciones generales diferentes:

1. La que toma en consideración las características de movimiento de los líquidos, así como las condiciones de operación en las cuales trabaja el equipo.
2. La que se basa en el tipo o aplicación específica, para la cual, se ha diseñado la bomba.

## GENERALIDADES



Existen tres clases de bombas para uso común, y son:

- A. Centrifuga.
- B. Rotatoria.
- C. Reciprocante.

Estos términos aplican solamente a la mecánica del movimiento del líquido y no al servicio para el que se ha diseñado la bomba.

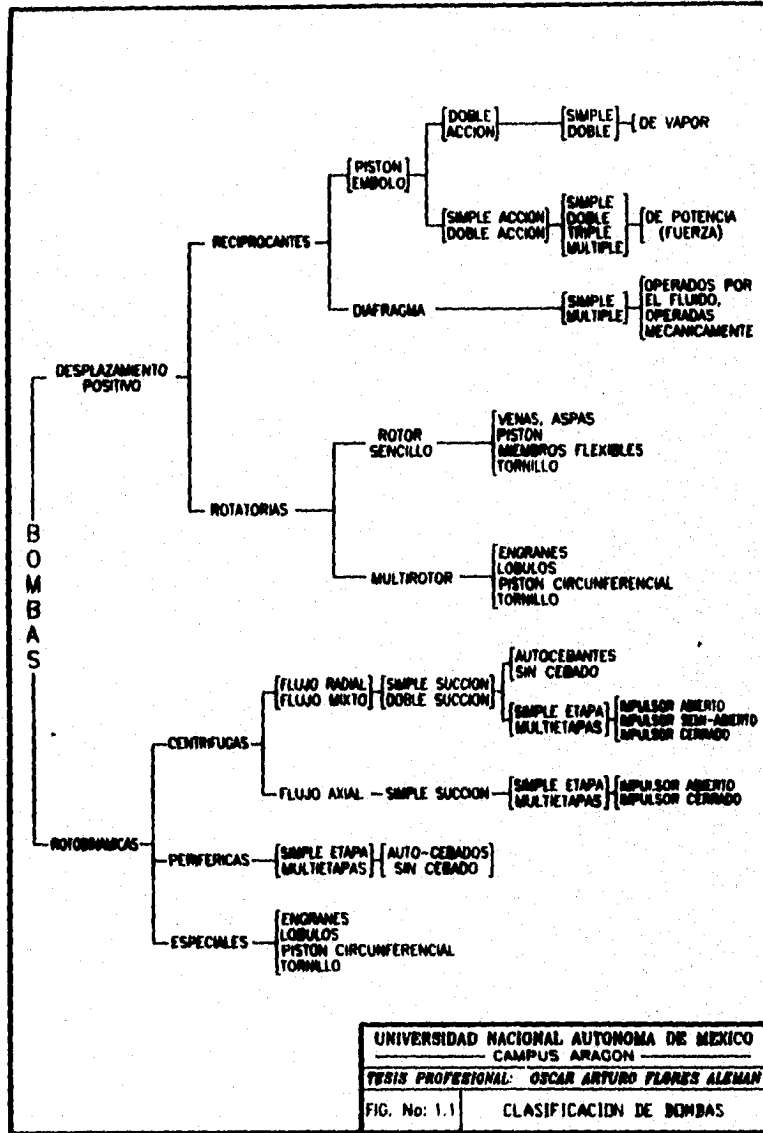
Sin embargo, es conveniente hacer mención de la clasificación que realiza el Instituto de Hidráulica, que es considerada, como la más completa en su ramo, teniendo como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipo de bombeo en el mundo entero y, se ha preocupado por mantener al día las normas y especificaciones. Ver figura 1.1.

Las bombas de desplazamiento positivo constituyen la primer clase de las dos en que fueron divididas. Su principio de funcionamiento consiste en el movimiento de un fluido, causado por la disminución del volumen de una cámara.

El órgano intercambiador de energía puede tener movimiento alternativo (émbolo) y movimiento rotativo (rotor). Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto alternativas como rotativas, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (en la succión) y disminuye de volumen (en la impulsión). Por eso a éstas máquinas también se les conoce con el nombre de máquinas volumétricas.

Las bombas que tienen el órgano transmisor de energía con movimiento rotativo se llaman rotoestáticas, y el intercambio de energía del fluido siempre ocurre en forma de presión.

GENERALIDADES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CAMPUS ARAÇON	
Tesis Profesional: OSCAR ARTURO FLORES ALEMAN	
FIG. No: 1.1	CLASIFICACION DE BOMBAS

## GENERALIDADES



El principio de desplazamiento positivo, hace que todas las máquinas basadas en él, sean hidráulicamente reversibles. Estas bombas se emplean principalmente en transmisiones y controles.

La segunda clase de bombas en mención, son las rotodinámicas. Su funcionamiento tiene base en la ecuación de Euler y su órgano transmisor de energía se llama rodete.

El nombre de rotodinámicas, es porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de energía. Es decir, el intercambio ocurre en los cambios de dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido.

Una bomba rotodinámica no puede ser una máquina reversible. Al funcionar como una turbina disminuye su rendimiento y en algunos casos es incapaz de producir potencia útil alguna. La razón es que los ángulos de los álabes, juegan un papel decisivo en la transmisión de la energía y al funcionar como turbina, los álabes no poseen ya los ángulos apropiados.

El tener un amplio conocimiento de las clases y tipos de bombas, puede llegar a ser muy útil para elegir el equipo que tenga el mejor diseño, para la aplicación requerida.

## 1.2. PARTES PRINCIPALES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

En el corte seccional de la figura 1.2, se muestran las partes más significativas de una bomba centrífuga.

### 1.2.1. CARCAZA:

La función de la carcasa es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor, en energía de presión. Esto se lleva a cabo, mediante la reducción de velocidad, por

## GENERALIDADES



un aumento gradual del área. Por lo que pueden encontrarse diferentes tipos de carcazas, según su diseño o forma de operar. A continuación aparecen los diferentes tipos:

SEGUN LA MANERA DE -

EFFECTUAR LA CONVERSION { VOLUTA { SIMPLE  
DOBLE  
DIFUSOR

DE ENERGIA

SEGUN SU CONSTRUCCION { FUNDICION DE UNA SOLA PIEZA  
PARTIDA { EN UN PLANO HORIZONTAL (AXIAL)  
EN UN PLANO VERTICAL (RADIAL)  
EN UN PLANO INCLINADO

DE ACUERDO AL TIPO DE SUCCION { SIMPLE  
DOBLE  
POR UN EXTREMO { LATERAL  
SUPERIOR  
INFERIOR

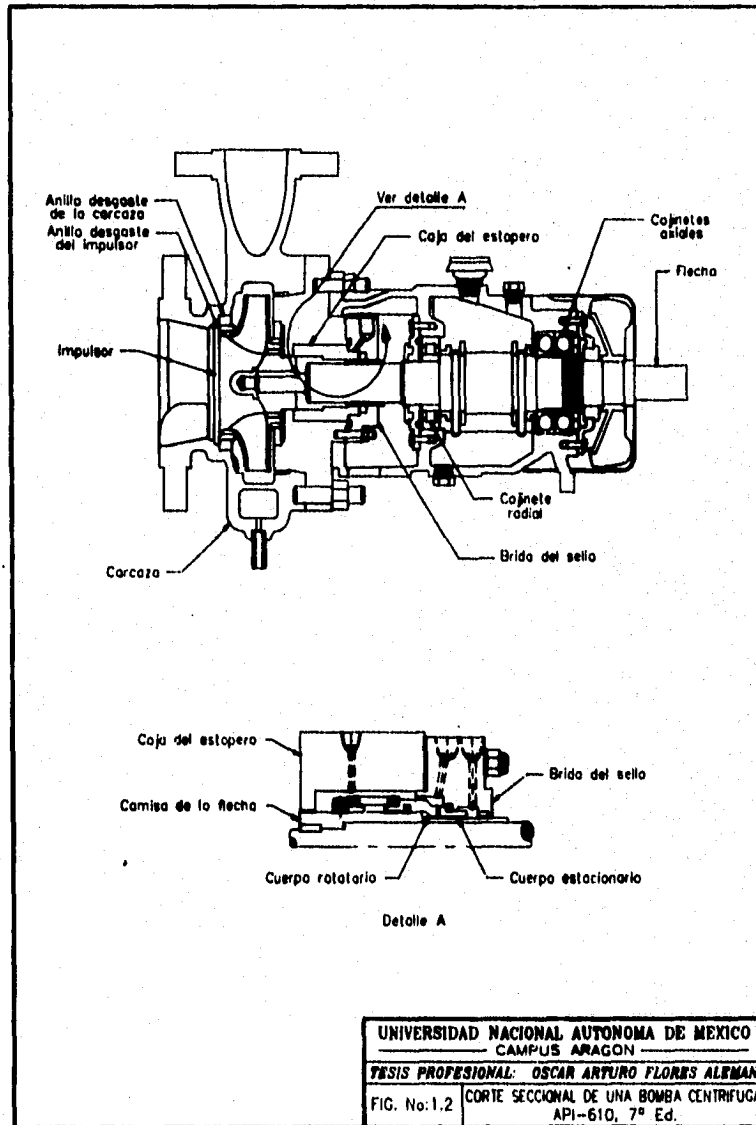
SEGUN NUMERO DE PASOS { DE UN PASO  
DE VARIOS PASOS

### 1.2.2. IMPULSOR:

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad, de la cual, depende la carga producida por la bomba. Los impulsores se clasifican según:

TIPO DE SUCCION { SIMPLE  
DOBLE

GENERALIDADES



## GENERALIDADES

FORMA DE LAS ASPAS { ASPAS CURVAS RADIALES  
ASPAS TIPO FRANCIS  
ASPAS PARA FLUJO MIXTO  
ASPAS TIPO PROPELA

DIRECCION DEL FLUJO { RADIAL  
MIXTO  
AXIAL

CONSTRUCCION MECANICA { ABIERTO  
SEMIABIERTO  
CERRADO

VELOCIDAD ESPECIFICA { BAJA  
MEDIA  
ALTA

### 1.2.3. ANILLOS DE DESGASTE:

Su función es tener un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde, debido a las cerradas holguras que se producen entre el impulsor que gira y la carcaza fija, la presencia del desgaste es casi segura. De esta manera, en lugar de tener que cambiar toda la carcaza, el impulsor o ambos, sólo se substituyen éstas piezas.

### 1.2.4. FLECHA:

Es el eje de todos los elementos que giran en ella y se encarga de transmitir la potencia del motor al impulsor.

## GENERALIDADES



### **1.2.5. MANGA O CAMISA DE LA FLECHA:**

Debido a que la flecha es una pieza bastante cara que suele sufrir desgaste en el área del sello mecánico, así como en los apoyos de la bomba, se requiere de una pieza de cambio barata, que proteja a la flecha del desgaste, para eso se emplea una camisa.

### **1.2.6. COJINETES:**

Se encargan de soportar la flecha de todo el rotor, en un alineamiento correcto, en relación con las partes estacionarias. Por medio de un correcto diseño, soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

Los soportes pueden ser en forma de bujes, baleros, o bien, del tipo de rodillos. Para cargas axiales, el balero deberá tener un hombro sobre el cual, carguen las bolas. La carga axial es mayor en bombas verticales que en horizontales.

### **1.2.7. BASES:**

Entre los elementos de soporte en una unidad existen:

- a) Soporte de rodamientos.
- b) Soporte de la bomba (pedestal).
- c) Soporte del grupo bomba-accionador (base común).

El soporte de rodamientos, a parte de alojar los baleros, está encargado de contener el lubricante necesario para la correcta operación de los mismos.

El alojamiento de rodamientos puede ser una pieza integral con el soporte del extremo líquido, o ser una pieza completamente separada.



## GENERALIDADES



El pedestal soporta el peso de la bomba. Cuando se manejan líquidos a temperaturas altas, es conveniente que el soporte sea a línea de centros de la bomba, con objeto de evitar que la expansión de las piezas, afecte la altura y se presente desalineamiento del equipo.

Soporte del grupo bomba-accionador. Como su nombre lo dice, es una base que abarca a la bomba y su accionador juntos y debe ser lo suficientemente rígida, para soportar el izaje de ésta, junto con todo el equipo instalado, para que de manera fácil y al mismo tiempo, se monte y desmonte el equipo.

### **1.2.8. COPLE:**

Transmite la potencia entre flechas rotativas y al mismo tiempo, evita los desalineamientos. Existe una gran variedad de coples, como: flexibles, rígidos, de engranes, pernos, discos, cadena, etc. El tipo de cople más común, es el seco, flexible tipo espaciador de membranas, ya que con éste, al realizar mantenimiento correctivo o preventivo de la bomba, no requiere desajustar el alineamiento entre flechas, del motor con la bomba, de igual forma, evita desensamblar la tubería de succión, descarga y planes de lubricación al sello. Otra ventaja, es que cuando llega a romperse la membrana, el equipo puede seguir operando por determinado tiempo. Dando la oportunidad de programar un paro del equipo, reduciendo las pérdidas productivas. Por último, éste tipo de cople es seguro ya que al fallar, no salen disparadas las piezas, como ocurre con otro tipo de cople.

### **1.2.9. ESTOPEROS, EMPAQUES Y SELLOS:**

La función de éstas piezas, es evitar el flujo hacia la atmósfera del líquido bombeado, a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba, y el flujo de aire, hacia el interior de la bomba.

## **GENERALIDADES**



**Los sellos mecánicos son de las piezas más delicadas del equipo de bombeo. Se requiere de un amplio conocimiento de éstos, para una correcta selección, instalación y mantenimiento.**

**El estopero es la cavidad concéntrica con la flecha, en la cual, se alojan los empaques o bien, el sello mecánico.**



## **II DISPOSITIVOS DE SELLADO.**

En los equipos de bombeo centrífugo, la potencia del accionador se transmite al impulsor por medio de una flecha que atraviesa la carcasa de la bomba. La cavidad en la carcasa se llama estopero y su cámara o caja, limita el medio ambiente de las partes internas de la bomba.

Si el claro que se forma entre la flecha y el estopero es muy reducido para evitar fugas del producto al operar la bomba, ocurre un sobrecalentamiento debido a la fricción entre piezas, provocando a su vez, una pérdida de potencia, y tanto la flecha como la carcasa reducen grandemente su tiempo de vida útil. En el caso contrario; de que el claro sea lo suficientemente amplio para evitar fricción, se presenta una excesiva fuga del líquido bombeado.

Por consiguiente, se requiere de dispositivos de sellado para evitar fugas del producto sin excesiva fricción. Uno de éstos dispositivos es el tipo paralelo al eje de rotación, el cual sella por medio de anillos de empaquetadura montados a presión sobre la flecha. Se emplean cuando la fuga controlada es permitida, como ocurre al bombear agua.

Para el manejo de fluidos corrosivos, explosivos y dañinos, el sellado por empaquetadura no es conveniente, por lo que se emplean otros medios más eficientes. Entre los que se encuentran, el sellado por inyección de condensado y sellos mecánicos.

El sellado de inyección por condensado tiene gran aceptación en servicios muy críticos, como lo es para el sellado de bombas de alimentación a calderas, que operan a altas velocidades. Es el más costoso de todos los tipos de sellado y puede ser sustituido por el sello mecánico, el cual ofrece una gran confiabilidad y un precio más económico.

## **DISPOSITIVOS DE SELLADO**



Los diseños de sellos mecánicos han tenido gran avance tecnológico y el uso de materiales de mejores propiedades mecánicas, hacen posible emplearlos para cualquier tipo de servicio, desplazando a cualquier otra forma de sellado. Los sellos mecánicos se verán en detalle en el siguiente capítulo.

## **II.1. EMPAQUETADURA.**

La función de una empaquetadura no es precisamente evitar la fuga sino permitir un escurrimiento restringido y controlado, dentro de límites aceptables al proceso.

La mayoría de las empaquetaduras, están destinadas para equipo rotatorio, pero también se utilizan en válvulas y otras aplicaciones, como en juntas para puertas, llaves mezcladoras, juntas de expansión y bombas reciprocantes.

Dentro de las propiedades deseables para una empaquetadura existen las siguientes:

1. **Moldeabilidad y elasticidad, para conformarse a la flecha y caja del estopero cuando se coloque y apriete, además de ser capaz de absorber las flexiones del eje durante la operación del equipo.**
2. **No debe tener ningún componente que pueda ser disuelto, atacado o debilitado por el fluido bombeado.**
3. **Bajo efectos de presión, no tiene que producir fricción destructiva y calor.**
4. **No causar abrasión o corrosión a la flecha.**

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



5. Permitir la pérdida de volumen lentamente, de modo que no requiera de frecuentes ajustes o remplazo.
6. Incluir lubricante de sacrificio para que al arranque o un apriete en exceso, en vez de dañar la empaquetadura, se pierda el lubricante.

El arreglo convencional de una caja de estoperos empaquetada aparece en la figura 2.1.

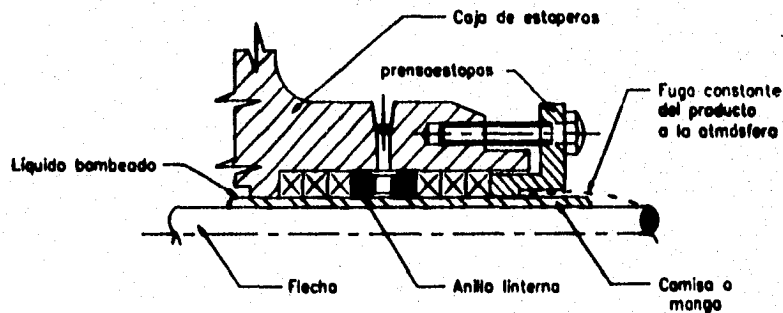


figura 2.1.- Caja de estoperos empaquetada.

### II.1.1. JAULA DEL SELLO O ANILLO LINTERNA:

Es una pieza rígida que sirve para recibir el líquido de enfriamiento para los empaques.

### II.1.2. PRENSAESTOPAS:

El prensaestopos es una pieza metálica que sirve para presionar los empaques y se mueve por medio de tornillos. Comúnmente es de bronce, ya que este material no produce chispa y así evita la ignición de vapores inflamables, cuando se manejan hidrocarburos.



## II.2. COMO FUNCIONA UNA EMPAQUETADURA.

Inicialmente, la empaquetadura es comprimida por medio del prensaestopas, para ejercerle cierta presión y contrarrestar o equilibrar la que ya existe en el interior de la bomba.

Al entrar en operación el equipo, parte del fluido bombeado pasa por el pequeño claro entre la empaquetadura y el eje rotativo, actuando como lubricante; permitiendo además disipar el calor generado por fricción.

Cuando se opera con fluidos de valores lubricantes insatisfactorios, o la bomba funciona a altas temperaturas y/o altas presiones que crean un calor adicional, es necesario, proveer medios de lubricación externos.

La lubricación externa, es introducida a la caja de estoperos por medio del anillo linterna, que generalmente, es localizado, a la mitad de la caja de estoperos; sin embargo, su exacta localización debe ser determinada en base a la viscosidad y poder lubricante del fluido introducido, así como a las condiciones de succión o vacío, contra las que actúa la empaquetadura.

Los medios de introducir la lubricación varían de acuerdo a los requerimientos y pueden ser tan simples como el uso de una grasea hasta la complicada instalación de un sistema independiente de bombeo. El medio más común, es recircular el mismo líquido bombeado (siempre y cuando no sea corrosivo o contenga sólidos), tomado de la descarga de la bomba e inyectado directamente a la caja de estoperos.

No existe empaquetadura que pueda resistir condiciones abrasivas dentro de límites aceptables de duración. A menos que se coloque un anillo linterna en el fondo de la caja de estoperos y se inyecte a una presión mayor, un líquido compatible, libre de abrasivos, estando

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



sujeto a que el proceso lo admita. De no ser posible, es necesario cambiar a otro tipo de sellado.

Ahora bien, si el contenido de sólidos abrasivos, es bajo, puede utilizarse el mismo fluido bombeado, instalando en la tubería de recirculación, unos filtros o separadores ciclónicos, sin alterar el proceso.

Cuando la bomba opera a altas presiones y/o temperaturas, complican el problema de mantener la empaquetadura del estopero en buenas condiciones, para tal caso, se provee la bomba de un estopero enchaquetado para ser enfriado por agua. Esta disminuye la temperatura del líquido que fuga por el estopero, disipando también, el calor generado por fricción, mejorando así, las condiciones de servicio de la empaquetadura. En casos especiales, puede usarse aceite o gasolina, en vez de agua.

### II.3. TIPOS DE EMPAQUETADURA.

Los cuatro tipos de empaquetadura son: entretejida cuadrada, plegada cuadrada, trenzado sobre trenzado y trenzada sobre un núcleo.

Los materiales básicos de las empaquetaduras son: fibras animales, vegetales, minerales, y varias sintéticas.

Las empaquetaduras mecánicas pueden dividirse en tres clases generales que son: tipo de compresión, automáticas y flotantes, representadas en la figura 2.2.

En las empaquetaduras de compresión se utiliza la fuerza producida por la placa de extremo para hacer contacto con el eje. En estas condiciones, el lubricante suaviza el control

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



con el eje y se va disipando con el tiempo. Cuando ocurre la pérdida total del lubricante, hay que reemplazar la empaquetadura.

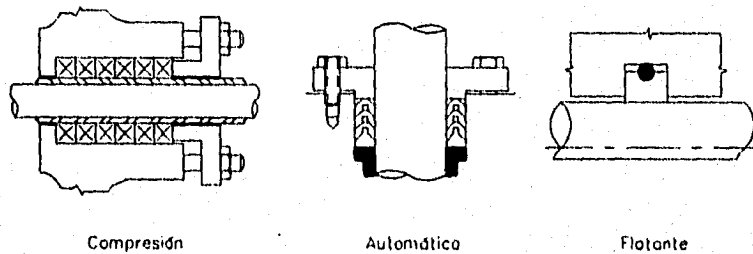


figura 2.2.- Clases de empaquetadura mecánica.

La empaquetadura automática es de una construcción, en la cual, el contacto con el eje no depende de la compresión del prensaestopas, o bien, sólo depende de la compresión inicial del mismo. Suele instalarse de modo que la presión ayude a las fuerzas de sellamiento, es decir, sella en un sólo sentido y es utilizada principalmente, en máquinas reciprocantes.

Cualquier empaquetadura segmentada que funciona en un espacio limitado y que se mantiene unida con resortes, es del tipo flotante. Un ejemplo lo constituye el anillo de pistón.

Las bombas centrífugas usan empaquetaduras del tipo a compresión, y de acuerdo a sus materiales y métodos de construcción, se clasifican en tres grupos básicos:

- Empaquetaduras metálicas.
- Empaquetaduras plásticas.
- Empaquetaduras de fibras o filamentos tejidos.



## DISPOSITIVOS DE SELLADO



### II.3.1. EMPAQUETADURAS METALICAS:

Comúnmente de plomo, babbitt, cobre o aluminio. Son de envoltura en espiral o de construcción plegada torcida. Estas empaquetaduras suelen tener un núcleo de material elástico compresible y algún lubricante. El núcleo es un cordón de caucho sintético o mecha de asbesto.

Tienen gran aceptación, por su resistencia física, no absorbencia, resistencia al calor y permitir una regulación de escurrimiento constante sin necesidad de frecuentes ajustes.

El inconveniente es su poco poder de recuperación, por lo que su uso está limitado a bombas centrífugas operando en correcto alineamiento y libres de vibraciones excesivas.

### II.3.2. EMPAQUETADURAS PLASTICAS:

Generalmente son de construcción homogénea a base de fibras de asbesto, grafito, aceites y aglutinantes especiales, para tener un producto terminado con las propiedades deseadas, o a veces están formadas sobre un núcleo. Con frecuencia, tienen una camisa de asbesto u otro material trenzado para ayudar a mantenerles la forma.

Otros dos tipos son: empaquetaduras de caucho y lona, y de caucho con asbesto. Son de fácil conformación y excelente flexibilidad, a través de su desgaste, siguen presentando la misma composición antifriccionante contra la flecha, adaptándose a sus irregularidades, sin crear un excesivo calor por fricción. Son de un costo económico y operan excelentemente a bajas presiones.

Sus desventajas son: Se extruyen por los claros, entre flecha y caja de estoperos, tienen baja resistencia a la presión, por lo que si llegan a ser aplicadas en servicios de altas

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



presiones, tienen que operar, a velocidades de frotamiento muy reducidas, con frecuentes ajustes para regularizar su escurrimiento.

### II.3.3. EMPAQUETADURAS DE FIBRA O FILAMENTOS TEJIDOS:

Cabe aquí hacer una subclasificación dada la gran variedad de materiales y métodos de construcción:

a) **EMPAQUETADURAS DE FILAMENTOS VEGETALES:** Están compuestas de fibras de lino, yute o algodón y lubricadas. Son fáciles de instalar, de bajo costo y se utilizan para servicios de agua fría o similares. Soportan muy poco calor por fricción, por lo que deben permitir un mayor escurrimiento, que los demás tipos de empaquetaduras. Otro inconveniente, es que sus lubricantes, son lavados y arrastrados por el fluido en operación.

b) **EMPAQUETADURAS DE FIBRAS DE ASBESTO:** Existen dos clases; el asbesto común blanco o Canadiense y el asbesto azul o Africano, éste último, es más áspero y abrasivo, pero tiene mayor resistencia a los ácidos.

Las fibras de asbesto mezcladas con algodón e impregnadas con lubricantes especiales y grafito, son las empaquetaduras de uso más generalizado en la operación de bombas centrífugas.

Estas empaquetaduras, tienen resistencia a la temperatura generada por fricción, son adaptables y flexibles, con muy poca variación de su volumen en los diferenciales de temperatura de operación. Su costo es económico, pero al igual que los filamentos vegetales, sus lubricantes son arrastrados por el fluido en operación, presentando además, una superficie abrasiva que desgasta a la flecha y su manga.

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



c) **EMPAQUETADURAS DE TETRAFLUROETILENO (TFE):** El tetrafluoroetileno o más comúnmente llamado teflón, tiene una alta resistencia al calor (232°C máximo), bajo coeficiente de fricción, casi una total inatacabilidad química, que permite operar con productos altamente corrosivos y no produce contaminación alguna sobre el producto manejado. El inconveniente es su baja conductividad Térmica, lo que limita su uso en la operación de bombas centrífugas como empaquetadura, pues las altas velocidades periféricas de la flecha, generan un calor tal, que puede sobrepasar la resistencia al calor del TFE. Es poco maniobrable y su volumen varía con los cambios de temperatura, dificultando el control de la fuga. Debido a lo cual, su uso está sujeto, a un adecuado paso de lubricante entre flecha y empaquetadura, para disipar el calor por fricción.

d) **EMPAQUETADURAS DE GRAFITO:** El advenimiento del grafito en la fabricación de empaquetaduras, resuelve muchos de los grandes problemas de empaquetado. Se componen de filamento o escamas laminadas de grafito puro. Al igual que el TFE, resisten las altas temperaturas, su coeficiente de fricción es muy bajo y es prácticamente inerte al ataque químico, con la virtud de ser excelente conductor térmico.

El nuevo producto conocido como GRAFOIL<sup>1</sup>, permite bajo cuidadosa instalación, reducir el escurrimiento a un nivel inapreciable. El inconveniente es su alto costo y no resistir a los oxidantes fuertes.

Para seleccionar la empaquetadura adecuada, los factores a considerar son: Condiciones del líquido, tales como; temperatura, lubricidad y presión; así como las del equipo; velocidad, condiciones físicas, material del eje o camisa y aspectos diversos como dimensiones, espacio disponible, servicio continuo o intermitente y cualquier combinación de ellos.

---

<sup>1</sup>Marca registrada por Unión Carbide.

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



Los tipos de lubricantes para empaquetaduras mecánicas pueden ser sólidos, secos o líquidos.

Los sólidos o secos, pueden ser el tetrafluoroetileno (TFE), grafito, mica y disulfuro de molibdeno. Los líquidos incluyen aceites, refinados y sintéticos, grasas minerales y animales, y diversas ceras. Algunas empaquetaduras incluyen su propio lubricante y son las del tipo grafitico.

### II.4. SELECCION DIMENSIONAL DE LAS EMPAQUETADURAS.

Los espesores de la sección transversal de la empaquetadura, tienen una relación directa con el diámetro de la flecha o manga. A continuación, se enlistan los espesores recomendados por fabricantes de prestigio de bombas centrífugas, para diferentes diámetros de flecha.

DIAMETRO DE FLECHA O MANGA	SECCION TRANSVERSAL EMPAQUETADURA
1/2" a 5/8"	5/16"
11/16" a 1-1/2"	3/8"
1-9/16" a 2"	7/16"
2-1/16" a 2-1/2"	1/2"
2-9/16" a 3"	9/16"
3-1/16" a 4"	5/8"

Es importante usar los espesores adecuados para llenar el espacio reservado a la empaquetadura. Si se emplea un espesor menor al necesario, tienen que comprimirse excesivamente las empaquetaduras, para lograr llenar el estopero. Esto reduce la sección transversal, agotando los márgenes de compresibilidad para ajustes futuros. En cambio, al

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



utilizar empaquetaduras de mayor sección, hay que forzarlas para que quepan en la caja del estopero, ocasionando un apriete contra la flecha, mayor al requerido y en consecuencia, aumento de temperatura por una mayor fricción.

### II.5. EMPACADO DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

Cuando prematuramente fallan las empaquetaduras, independientemente de su correcta selección para el servicio y los medios de lubricación son los adecuados. Estas fallas son atribuibles casi en su totalidad, a métodos impropios de empaçado y asentado inicial.

Para una buena instalación de empaquetaduras, los puntos a realizar son los siguientes:

1. Si el empaçado no es por vez primera, hay que remover la empaquetadura usada, por medio de un par de ganchos extractores del tamaño adecuado. Posteriormente, limpiar perfectamente el interior de la caja de estoperos, checando con espejos y lámpara, de ser necesario.
2. Verificar la concentricidad de la flecha con relación al diámetro interior del estopero.
3. Verificar la excentricidad en giro de la flecha, la cual, no tiene que exceder de 0.5 mm (0.002"), al diámetro.
4. La superficie del elemento rotatorio en el área de empaçado debe encontrarse sin rayados, corrosión o deformaciones.
5. Revisar el claro radial interior del prensaestopas con el estopero, máximo debe ser 0.4 mm (0.15"), para evitar la extrucción de la empaquetadura, y el claro radial

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



exterior de 0.25 mm (0.10") máximo, para prevenir se apoye en la flecha. También checar, que el claro entre el apoyo del fondo de la caja del estopero y la flecha, no supere los 0.25 mm (0.10"), radialmente. Ver figura 2.3.

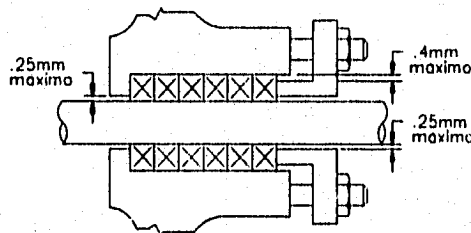


figura 2.3.- Claros requeridos en la caja de estoperos.

6. Medir la profundidad de la caja, para asegurar la cantidad de anillos de empaquetadura que requiere, tomando en cuenta un espacio libre, para la entrada y centrado del prensaestopas.
7. Las empaquetaduras se encuentran en dos presentaciones: anillos preformados y carretes o rollos.
  - 7.1 La forma más conveniente, es la del anillo preformado, debido a que tiene las dimensiones exactas, tanto del eje como del estopero, evitando el riesgo de desperdiciar material por cortes erróneos.
  - 7.2 De no contar con juegos preformados, colocar la empaquetadura alrededor de la flecha o un mandril del mismo diámetro, trazar dos líneas paralelas a la flecha, separadas por una distancia igual a la sección de la empaquetadura, y cortar los anillos a 45 grados.

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



8. Las empaquetaduras metálicas y plásticas, deben abrirse para su instalación en sentido espiral, separando sus puntos axialmente, para evitar la distorsión del moldeo o rotura del empaque.
9. Verificar con el primer anillo, que ajuste correctamente en el estopero, permitiendo el libre giro de la flecha. De estar en lo correcto, cada anillo siguiente va a ser instalado de manera individual. Por medio de bujes bipartidos, se guían y asientan firmemente a su lugar, presionando con ayuda del prensaestopas. Los anillos del fondo son los que reciben en operación la menor presión distribuida del prensaestopas, por lo que deben ser presionados con mayor firmeza. Al emplear empaquetaduras de multifilamento de TFE o grafito, solamente se deslizan a su lugar sin comprimir.
10. Asegurar que los cortes de los anillos queden girados 120° uno del otro, para evitar posibles rutas de fuga.
11. Si la instalación incluye un anillo linterna, su posición es directamente abajo del orificio de inyección, considerando la compresión y pérdida de volumen de los anillos del fondo.
12. Posicionar el prensaestopas contra el último anillo, checando que encuadre, para después apretar las tuercas uniformemente, con sólo a presión de dedos. Por último, comprobar que la flecha gira sin rozar con el diámetro interior del prensaestopas.

## II.6. ARRANQUE DE LA BOMBA.

En el arranque del equipo, es necesario presurizar la caja del estopero, asegurándose de no quedar aire atrapado, el escurrimiento debe aparecer tan pronto se establezca la

## DISPOSITIVOS DE SELLADO



presión. Mientras se presenta de manera permanente, la caja de estoperos puede sobrecalentarse, por lo que si llega a ocurrir, hay que detener la bomba, esperando se enfríe, para intentar nuevamente el arranque. La operación debe repetirse las veces que sea necesario, hasta lograr la presencia del escurrimiento constante, sin el sobrecalentamiento de la caja del estopero.

Después de un lapso de 10 minutos a éstas condiciones, el escurrimiento se regula, apretando las tuercas del prensaestopas, únicamente 1/6 de vuelta completa, con intervalos de 10 minutos, hasta reducir la fuga a un nivel aceptable.

En posteriores ajustes para el control de la fuga, se toma el mismo sistema de 1/6 de vuelta con intervalos de 10 minutos, siempre con la bomba trabajando a su presión normal y temperatura de operación.

El método anterior puede aplicarse en todas las instalaciones de empaquetadura, excepto cuando se manejen fluidos tóxicos o peligrosos, en los cuales, se requieren precauciones especiales.

La experiencia, ha demostrado que para las empaquetaduras del tipo a compresión, una combinación de estilos rinde mejor servicio y duración que los conjuntos de una sola clase, es decir, a condiciones de operación no severas y bajas presiones, el sólo emplear empaquetaduras de plástico se cumple con el servicio, pero si la presión es superior, deben incluir en el conjunto, empaquetaduras de mayor densidad a los extremos, justamente en el cuello de la caja de estoperos y otro inmediato al prensaestopas, para evitar la extrucción de los menos densos en éstos dos puntos, y a medida que la presión de operación sea superior, la sustitución de anillos blandos por anillos más duros, debe hacerse.

Si la caja de estoperos va equipada con anillo linterna, en cada lado de ésta, se instala un anillo de material pesado para evitar su extrucción.



## DISPOSITIVOS DE SELLADO



Es importante no efectuar ajustes en exceso para detener el escurrimiento, ya que esto provoca la operación en seco de la empaquetadura, lo que limita su vida útil, provocando además rayados prematuros en la flecha o manga de la bomba. También es conveniente prever un espacio amplio, para reemplazar la empaquetadura y anillo linterna (si es que lleva), sin remover o desmantelar cualquier otra pieza que no sea el prensaestopas.

El API-610 6ª Ed., párrafo 2.7.2.2 indica que: las cajas de estoperos en cualquier bomba para hidrocarburos, no debe tener menos de seis anillos de empaque, más el anillo linterna. El tamaño de empaque mínimo permitido es un cuadrado de 9.5 mm (3/8") por lado; sin embargo, se prefieren tamaños de 12.7 mm (1/2").

### II.7. INCONVENIENTES EN EL USO DE EMPAQUETADURAS.

La empaquetadura tiene un periodo corto de vida, lo que significa mantenimiento muy frecuente. No elimina fugas, sólo las restringe; ocasiona desgastes de las partes del equipo por fricción, y absorbe gran cantidad de potencia, no cubre toda la variedad de fluidos y sus características, no cumplen con las normas actuales para manejo de algunos fluidos.



### **III. ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO.**

El sello mecánico es un conjunto de partes, que forman un dispositivo de precisión, diseñado para eliminar las fugas. Maneja cualquier variedad de fluido a muy diversas condiciones de operación, sus pérdidas de potencia por fricción son reducidas, tiene un periodo de vida útil relativamente amplio, y no requiere de ajustes ni paros frecuentes por mantenimiento. Por éstas y muchas más razones, el sello mecánico, es el tipo de sellado más utilizado en Plantas Industriales.

Comúnmente tiene aplicación en bombas centrífugas y rotatorias, compresores centrífugos, de flujo axial y rotatorios, así como agitadores y reductores de velocidad.

Todos los sellos mecánicos están constituidos de tres componentes básicos: 1) Un grupo de elementos primarios, 2) Un grupo de sellos secundarios, y 3) Los componentes para instalar, sujetar y mantener el contacto entre caras. Ver figura 3.1.

El primer grupo está compuesto de dos elementos; uno fijo, que está sujeto a una tapa o brida, y otro móvil, que gira junto con la flecha frente al estacionario. Las superficies en contacto de ambos elementos, forman el sellado principal.

Estas superficies o llamadas comúnmente caras, deben ser completamente lisas y de dureza diferente.

Debido a que el sellado principal ocurre de manera perpendicular al eje, existen varias ventajas, entre las que se encuentran: Evitar un desgaste excesivo de la flecha, eliminar pérdidas de potencia por fricción, así como sobrecalentamiento del equipo.

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO

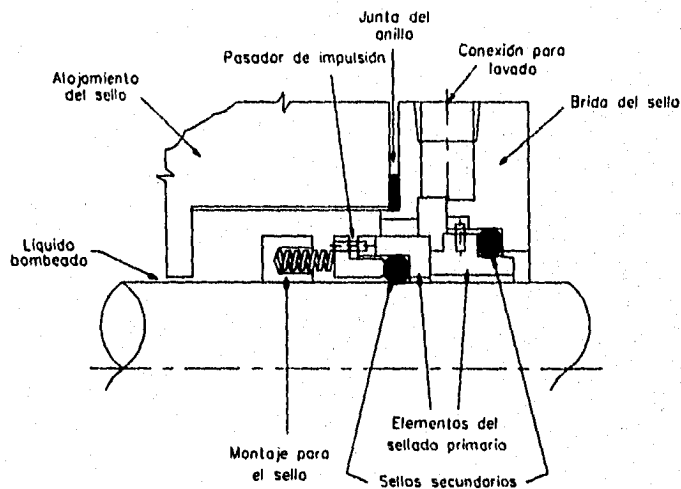


figura 3.1.- Corte seccional del sello mecánico.

La función de los sellos secundarios, es cerrar las trayectorias de fuga entre la cara fija y la rotatoria, además de permitir el montaje flexible del conjunto rotatorio y compensar parte de los movimientos axiales de la flecha.

Los sellos secundarios pueden ser tazas, anillos en V o cheurones, fuelles, anillos en forma de cuña, juntas y sellos anulares. Estos últimos son los más recomendados, debido a que pueden flexionarse unas cuantas milésimas de pulgada y son mejores que otras configuraciones de elastómero, que permiten tanto movimiento.

Los componentes y accesorios metálicos del sello sirven para:

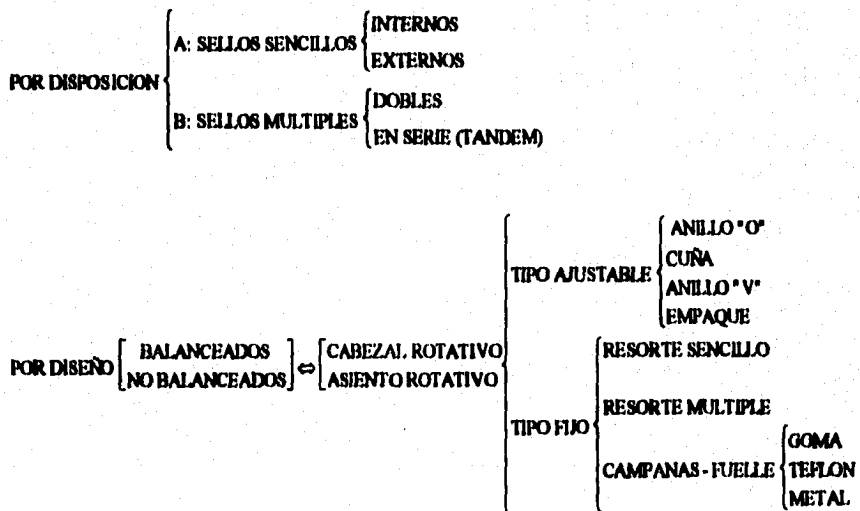
1. Adaptar los sellos en un equipo. Puede ser una camisa o cubierta y así tener una instalación más fácil y precisa.



2. Aplicar precarga mecánica en las caras, hasta que empiece la presión hidráulica, y compensar los movimientos axiales de la flecha, con ayuda de resortes y elastómeros. El movimiento axial es constante, entre 0.001 y 0.002 pulg., y puede ser producido por una desviación normal, vibración, cavitación, desequilibrio del impulsor, desalineamiento de los tubos y acoplamientos, y las tolerancias de los cojinetes.
  
3. Transmitir el par a las caras fija y rotatoria del sello. Se obtiene con pasadores, rebajos, muescas o tornillos integrales con el sello.

### III.1. CLASIFICACION DE SELLOS MECANICOS.

Considerando las características de disposición y diseño, los sellos mecánicos están clasificados de la siguiente manera:



## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



### III.1.1. SELLOS SENCILLOS:

**INTERNO:** Se dice que un sello es interno, cuando su componente rotatorio se encuentra dentro de la carcasa, es decir, en contacto con el producto, el cual, ejerce una presión que tiende a cerrar las caras. Este tipo de sello es el más utilizado.

**EXTERNO:** En el sello externo el elemento rotativo está montado fuera del recipiente para el líquido bombeado, y a la inversa del anterior, la presión interna tiende a separar las caras, por lo que su lubricación y lavado están restringidos. Es óptimo en servicios a vacío, o a muy bajas presiones, permite aislar las partes metálicas de sustancias corrosivas y es de fácil mantenimiento.

Pero no es conveniente cuando se emplean líquidos abrasivos, ya que las partículas de éste, se pueden acumular en la abertura anular y por la fuerza centrífuga, ser empujadas entre las caras, ocasionando su rápido desgaste.

En la figura 3.2 está presente, un sello interno y un sello externo.

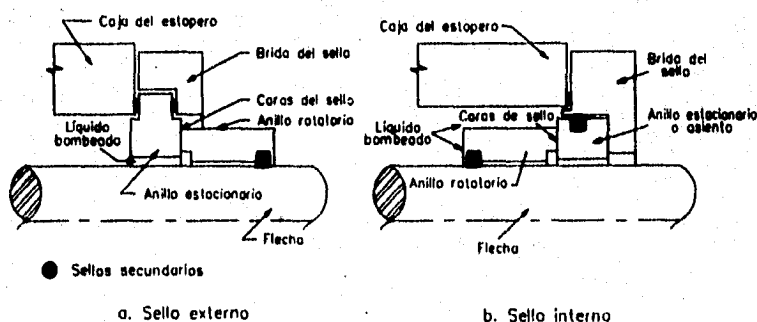


figura 3.2.- Sellos sencillos.

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



Si la fuga se define como un líquido visible, puede afirmarse que el sello mecánico sencillo detiene las fugas por completo, pero debido a que requiere de una película entre las caras de sellamiento, para lubricarlas y enfriarlas, existen ciertas cantidades diminutas de fuga, que en la mayoría de los casos, no es percibida por el ojo humano.

La evaporación de las fugas, es permitida al bombear líquidos no peligrosos, tóxicos o contaminantes. Pero en el caso de necesitar la ausencia total de escurrimiento del producto, el sello sencillo no suele ser el adecuado, por lo que es indispensable utilizar un sello múltiple o recurrir a un dispositivo auxiliar de sellado.

### III.1.2. SELLOS MÚLTIPLES:

De la clasificación de sellos múltiples, se derivan los sellos dobles y Tandem.

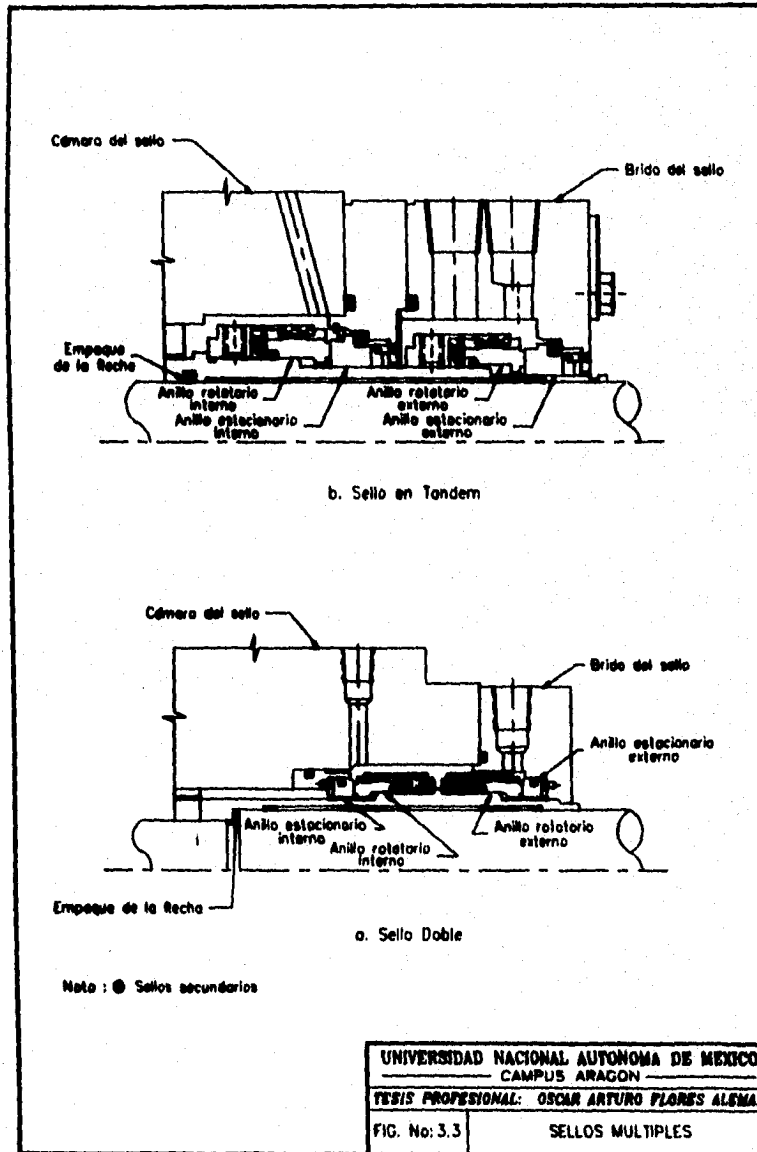
**SELLOS DOBLES:** Su arreglo está compuesto de dos sellos sencillos por cámara, montados en posición contraria uno del otro, es decir, sellan en direcciones opuestas. Existe una cavidad entre ellos y son lubricados de un líquido circulante, proveniente de una fuente externa.

**SELLOS TANDEM:** Se componen de dos sellos sencillos montados en serie con una cavidad entre ellos. Debido a su arreglo, son de mayor tamaño que los dobles, y también son lubricados de un líquido circulante, proveniente de una fuente externa.

En la figura 3.3 aparecen, un sello doble y un sello tandem.

Tanto los sellos dobles como los Tandem, son empleados para evitar fugas por completo del producto, pero que criterio es conveniente tomar, para elegir entre el uso de un tipo de sello y el otro.

ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CAMPUS ARAGON	
TESIS PROFESIONAL: OSCAR ARTURO FLORES ALEMAN	
FIG. No: 3.3	SELLOS MULTIPLES

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



Primeramente analizar el producto a manejar, es decir, si el líquido bombeado es venenoso como ocurre con todos los ácidos; por ejemplo: el ácido fluorhídrico (HF), el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), el ácido clorhídrico (HCL) y el amoníaco, o muy contaminantes como suele ser el MTBE, TAME, plomo y azufre. Para éstos casos, es indispensable, que por ningún motivo ocurra una fuga, para ello, se requiere el sello más seguro, que es el doble<sup>2</sup>.

En cambio, al bombear un líquido común, hállese de cualquier hidrocarburo, con una gravedad específica menor a 0.7. Lo más aconsejable es un sello múltiple para que no fugue en forma de vapor, y sólo basta con emplear un sello Tandem.

Otro punto en consideración, es saber si el sistema acepta que el líquido bombeado se mezcle con el lubricante del sello. Cuando es posible y casi siempre ocurre con los productos primarios, se recomienda utilizar un sello doble, pero en el caso de que el producto no deba ser contaminado, suele emplearse un sello Tandem.

También hay que tener en cuenta, de que los sellos dobles son convenientes en aplicaciones con vapor y productos de pobre viscosidad, los cuales rinden una película inestable de fluido. Y los sellos tandem, cuando el producto se vuelve abrasivo al cristalizar en contacto con la atmósfera, así como con líquidos inflamables o tóxicos.

El último criterio es el económico. El fluido barrera, para un sello doble, debe mantenerse siempre a una presión mayor que la de bombeo, lo que hace más caro a su sistema para operar, que el de un sello tandem.

**III.1.3. DISPOSITIVO AUXILIAR DE SELLADO:** Puede ser un buje flotante de estrangulamiento con claros cerrados, o una caja de estoperos auxiliar, conteniendo por lo menos dos anillos de empaquetadura (de ¼ de pulgada mínimo). Este también necesita de un sistema de lubricación.

<sup>2</sup>En el tema "Como evitan los sellos múltiples que fugue el líquido bombeado", se confirma lo expuesto.



## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



Aunque es importante mencionar, que existen medidas de seguridad ambiental mundial, que prohíben operar los equipos de bombeo sin el uso de un sello múltiple, cuando manejen productos químicos y derivados del petróleo, hasta la fecha, no se le ha dado la importancia que debe y sólo aplica para ciertos casos.

Las características de diseño de los sellos mecánicos, permite clasificarlos también en sellos balanceados y no balanceados.

**III.1.4. SELLO NO BALANCEADO:** Es aquel que va montado en una flecha de diámetro constante, por lo que, la presión del producto en el estopero, actúa totalmente a favor del cierre y contacto entre las caras.

**III.1.5. SELLO BALANCEADO:** Es un sello mecánico diseñado para compensar la presión del producto, mediante la reducción de la superficie en donde actúa la presión, manteniendo constante la superficie de sellado, de ésta manera, sólo se reducen las fuerzas de cierre. Para llenar la superficie, se emplea un reborde en el eje, la camisa o el retén del sello.

En la figura 3.4 están representados un sello balanceado y un no balanceado.

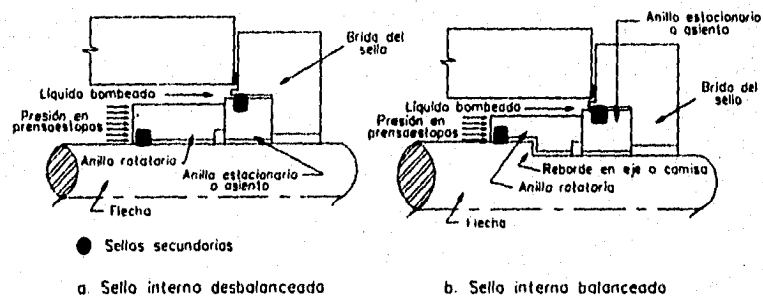


figura 3.4.- Clases de sellos por diseño.

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



De acuerdo al dispositivo encargado de aplicar precarga mecánica y compensar los movimientos axiales, se tiene que el sello mecánico puede ser de empuje o no empuje.

### III.1.6. SELLOS DE EMPUJE:

Son aquellos que usan resortes y son: El conjunto de resortes múltiples pequeños, el de un sólo resorte sencillo y el de resorte ondulado.

El conjunto de resortes pequeños, es el arreglo que proporciona una mayor uniformidad de carga en las caras de contacto, pero no es útil, cuando opera con líquidos corrosivos y sustancias con sólidos en suspensión, ya que son afectados rápidamente en su funcionamiento por su mínimo espesor, en su lugar, se recomienda emplear un sólo resorte sencillo; el inconveniente es que ocupa un mayor espacio, pero suele ser de un costo menor por instalación.

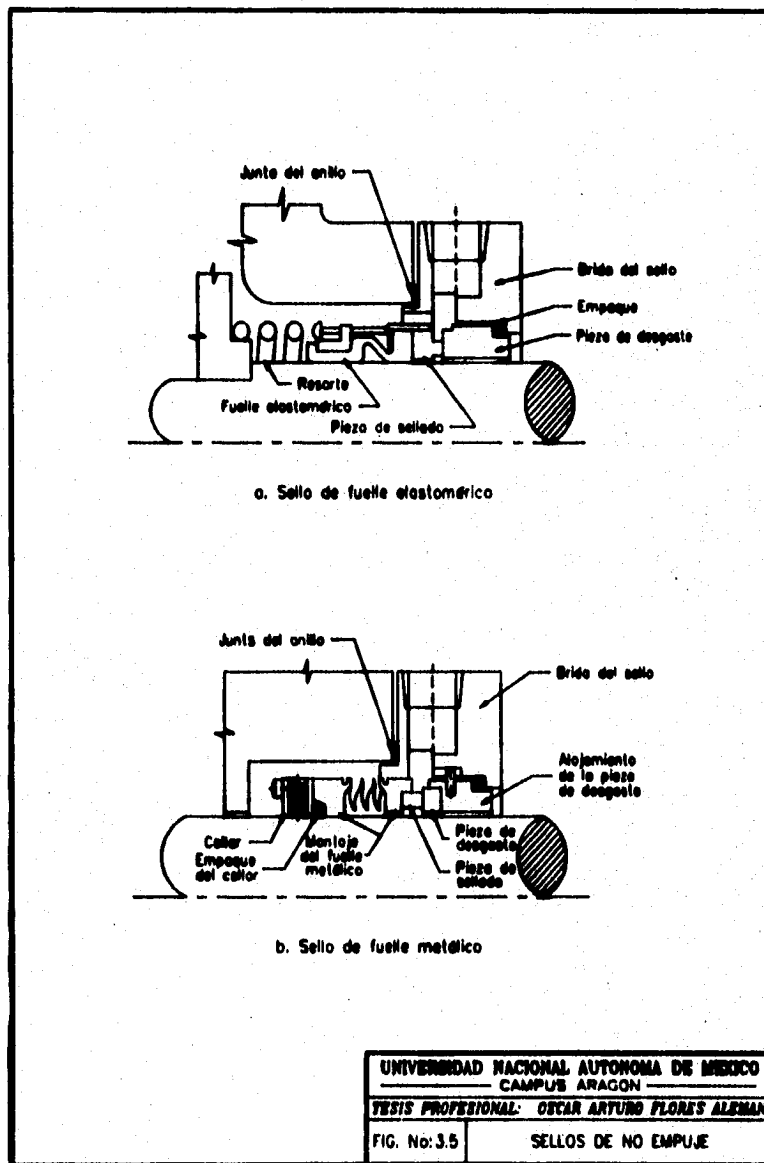
El resorte ondulado es muy práctico, debido al espacio mínimo requerido, pero no es muy común.

En general, los sellos de resorte se emplean en aplicaciones de altas velocidades.

### III.1.7. SELLOS DE NO EMPUJE:

De la clasificación de sellos de no empuje, pertenecen los sellos de fuelle elastomérico y los de fuelle metálico, de los cuales, aparecen en la figura 3.5. Ambos, son inherentemente balanceados por diseño.

ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



El sello de fuelle elastomérico tiene la ventaja principal, de que el elemento rotatorio puede moverse libremente en dirección de la cara estacionaria, es decir, mantiene un contacto constante entre caras, sin sufrir los retardos por fricción, como ocurre con el empaque de la flecha ("O" ring) y la flecha, para el caso de un sello convencional.

Otra ventaja del sello de fuelle elastomérico en relación al sello convencional, es que cuando la metalurgia de la flecha o la camisa, no es compatible con el producto, y da lugar a la corrosión. El empaque de la flecha pierde su habilidad de compensar los movimientos axiales, presentando fuga, lo cual no ocurre con el fuelle elastomérico.

Limitaciones: El sello de fuelle elastomérico es energizado por un resorte, el cual ajusta sobre la flecha y el fuelle. Consecuentemente, la vida útil del sello, está sujeta a la velocidad de operación y a la existencia de partes de repuesto. Son más susceptibles a fallas por fatiga y no operan a altas presiones. Además, cuando llega a fallar un fuelle elastomérico, el problema es más serio, que al fallar un empaque convencional, debido a que, cuando un "O" ring empieza a deteriorarse por cualquier razón, la fuga presente es restringida y se incrementa paulatinamente, lo que advierte con tiempo planear el paro de la bomba para su reparación, en cambio, si llega a tener una ruptura el fuelle, se requiere de una inmediata reparación por la fuga tan grande.

El sello de fuelle metálico es empleado principalmente para líquidos con altas temperaturas. El propio diseño del fuelle, suministra la presión necesaria para mantener el contacto entre caras, eliminando el uso de resortes. El fuelle metálico es, una pieza unitaria de baja rigidez soportada a todo lo largo y ancho, y cada presión es aplicada a todos los puntos del anillo del sello. También gracias a su configuración, el fuelle permite al sello, ser aplicado a velocidades más altas de giro que cuando es ajustado por un sólo resorte y no requiere del uso de empaques para la flecha o camisa.

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



El fuelle puede ser rotatorio o estacionario y ambos ser proporcionados con montaje en cartucho.

El sello de fuelle rotatorio es muy ventajoso cuando opera con líquidos sucios, debido a que la acción centrífuga, minimiza la acumulación de sólidos entre los anillos del fuelle.

También asiste para la disipación de calor desde las caras del sello evitando problemas de evaporación.

En cambio, el sello de fuelle estacionario se prefiere cuando se manejan productos viscosos, debido a que son menos las partes rotatorias en contacto con el líquido. Su arreglo permite reducir las fallas por fatiga originadas de deformaciones cíclicas.

Las ventajas del fuelle metálico son:

1. Puede operar satisfactoriamente a altas temperaturas, incluso arriba de los 450°C.
2. El sello de fuelle metálico mantiene un contacto constante en las caras del sello.
3. Puede ser de materiales resistentes al ataque químico y soportar temperaturas extremas de operación, lo que no ocurre con sellos convencionales, los cuales, dependen de elastómeros o resinas de TFE para sellado secundario y componentes de montaje con rangos de temperatura limitados; y aunque el material de un empaque en particular admita operar bajo una temperatura crítica; esto no significa, que tiene también la resistencia necesaria para soportar el ataque químico del producto.

En el supuesto caso de que el problema combinado de temperatura y resistencia química pueda ser superado por la creación de un ambiente artificial compatible en la cámara

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



del sello, tal solución requiere de arreglos de lubricación y enfriamiento costosos. En cambio, el sello de fuelle metálico, promete ofrecer una solución económica a los problemas de sellado con alta temperatura.

**Limitaciones:** El fuelle metálico está formado por una serie de placas llamadas convoluciones o espiras, de las cuales, cada una es un anillo individual soldado en cualquiera de sus extremos o anillos similares. Desafortunadamente sus propiedades mecánicas necesarias, no son las de una sola pieza de metal, por lo que presenta frecuentemente la posibilidad de fallar por fatiga, resultando una ruptura del fuelle. Tal ruptura puede desencadenar una fuga de proporciones catastróficas.

Otra desventaja es el hecho, de que al necesitar remplazar la cara rotatoria, hay que hacerlo para todo el ensamble del fuelle.

La introducción de los empaques secundarios de todo grafito, puede sustituir en algunos casos, el uso de sellos de fuelle metálico, ya que además de ser capaces de operar a temperaturas extremas, son inertes a efectos de deterioro de la mayor parte de los químicos.

El API-610 recomienda para equipos de bombeo que no cuenten con chaquetas de enfriamiento y bombeen líquidos a temperaturas mayores de 300°F, se solicite un sello de fuelle, también para todos los casos en que la temperatura del producto exceda los 600°F.

### **III.2. POR QUE ES RECOMENDABLE EMPLEAR SELLOS BALANCEADOS**

Las fuerzas que tienden a cerrar las caras de un sello interno, están sometidas a la presión hidráulica. Si el sello funciona a una presión alta en el estopero, éstas fuerzas pueden ser excesivas y provocar que la película lubricante entre las caras sea expulsada, privándolas

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



de lubricación y produciendo flasheo<sup>3</sup> entre ellas, e incluso, hasta el punto, de hacer operar al sello en seco, lo que ocasiona su daño inmediato. Para evitarlo, fabricantes de sellos mecánicos recomiendan que para los siguientes casos se emplee un sello balanceado:

- En el manejo de fluidos con gravedad específica igual o menor a 0.7<sup>4</sup>.
- Cuando la presión en la cámara del sello es superior a 150 psig.
- Cuando a la temperatura de bombeo, el fluido esté con una presión de vapor igual o mayor a 10 psia y/o presiones de sellado mayores a 75 psig.

Las ventajas que presenta emplear un sello balanceado son:

Además de equilibrar la presión hidráulica, requiere de menor potencia que un sello desbalanceado, compensa el golpe de ariete y puede utilizarse en bombas distintas y a diferentes presiones, con la única limitante de ser del mismo diámetro de flecha.

Como el calor generado por el sello mecánico está en función de la presión de cierre contra sus caras y el sello equilibrado hace que esa presión sea mínima, requiere poco o ningún enfriamiento a condiciones normales.

Facilita al sello operar a altas presiones de la caja del estopero, reduciendo también la carga de la cara del sello:

<sup>3</sup>Flasheo: Es la formación de burbujas que se pegan en las caras del sello, las cuales originan un vacío, succionando parte del material y al explotar las despostillan.

<sup>4</sup>Como el propano, butano, propileno y gases licuados del petróleo (LPG), debido a que evaporan a temperatura ambiente y presión atmosférica, además de ser difíciles de mantener.



### III.3. FUERZAS ACTUANTES EN LAS CARAS DEL SELLO Y RELACION DE BALANCE.

Para una operación segura del sello, el calor generado por fricción en las caras del sello debe ser minimizado, los parámetros que lo afectan y las contribuciones principales aparecen en la tabla III.1.

PARAMETROS:	CONTRIBUCION PRINCIPAL.
Velocidad de superficie	Velocidad de la bomba.
Area de la cara	Tamaño del sello y diámetro de la flecha.
Coefficiente de fricción	Material de construcción de las caras del sellado primario y acabado de superficies.
Fuerza hidráulica	Presión en la caja del estopero, contrapresión y relación de balance.
Viscosidad	Fluido de sellado.

Tabla III.1.- Parámetros y contribuciones principales en la operación de un sello.

El mecanismo de las fuerzas actuantes en la cara estacionaria de un sello interno se pueden ver en la figura 3.6, y son:

- a) Fuerzas de cierre, debidas a la presión de la caja del estopero ( $F_h$ ).
- b) Fuerzas de apertura, debida al gradiente de presión a través de las caras del sello ( $F_a$ ).
- c) Fuerza del resorte ( $F_R$ ). Actúa antes del arranque del equipo y usualmente es muy pequeña.



## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



$F_h$  debe tener un efectivo cierre y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F_h}{A_1} \text{ ----- (1)}$$

$P$  = Presión en la caja del estopero.

$A_1$  = Area sujeta a la presión del producto.

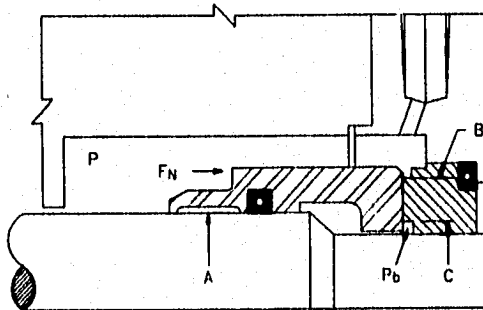


figura 3.6.- Fuerzas actuantes en un sello.

despejando  $F_h$ , queda:

$$F_h = A_1 \times P \text{ ----- (2)}$$

Para encontrar el valor de  $A_1$ , aplica la ecuación para calcular el área de un cilindro hueco.

$$A = \frac{\pi}{4} (d_{ext}^2 - d_{int}^2) \text{ ----- (3)}$$

Relacionando términos con respecto al sello mecánico, resulta que:

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



$d_{ext}$  = Es el diámetro exterior de la cara de contacto del anillo estacionario, identificado con la letra B.

$d_{int}$  = Es el diámetro de balance, que se localiza con la letra A.

Sustituyendo términos en (3), queda:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (B^2 - A^2) \text{ ----- (4)}$$

Por lo tanto:

$$F_b = \frac{\pi}{4} (B^2 - A^2) \times P \text{ ----- (5)}$$

$F_b$  debe tener una abertura efectiva y surge a partir de la presión media entre las caras, conocida también como presión estática ( $P_z$ ).

$$P_z = \frac{F_b}{A_2} \text{ ----- (6)}$$

donde:

$F_b$  = Es la fuerza de cierre.

$A_2$  = Es el área de contacto entre caras y se obtiene de la misma expresión (3).

De lo cual:

$d_{ext}$  = Es el mismo diámetro identificado con la letra B.

$d_{int}$  = Es el diámetro interior de la cara de contacto del anillo estacionario, identificado con la letra C.

Sustituyendo nuevamente términos en (3), se obtiene:

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



$$A_2 = \frac{\pi}{4}(B^2 - C^2) \text{ ----- (7)}$$

Por otra parte, al despejar  $F_a$  de (6), resulta que:

$$F_a = A_2 \times P_2 \text{ ----- (8)}$$

Siendo:

$$P_2 = (P - P_b) / 2 \text{ ----- (9)}$$

Donde:

$P_b$  = La presión atmosférica o contrapresión.

Sustituyendo (7) y (9) en (8), la nueva expresión queda, como:

$$F_a = \frac{\pi}{4}(B^2 - C^2)(P - P_b) / 2 \text{ ----- (10)}$$

De la suma algebraica de las fuerzas que actúan en las caras del sello, se obtiene una fuerza resultante, llamada Carga Neta de la cara del sello.

$$F_N = +F_R + \frac{\pi}{4}(B^2 - A^2)P - \frac{\pi}{4}(B^2 - C^2)(P - P_b) / 2 \text{ ----- (11)}$$

+ Fuerza de cierre

- Fuerza de apertura.

**RAZON DE BALANCEO:**

## ESPECIFICACION DEL SELLO MECANICO



De la expresión (11). Al considerar despreciable la fuerza del resorte y que las fuerzas de cierre están equilibradas con las fuerzas de apertura, se tiene que:

$$F_N = 0 \text{ ---- (12)}$$

es decir,

$$F_h - F_a = 0 \text{ ---- (13)}$$

Por lo que:

$$F_h = F_a \text{ ---- (14)}$$

Sustituyendo términos se tiene:

$$\frac{\pi}{4}(B^2 - A^2)P = \frac{\pi}{4}(B^2 - C^2) (P - P_b) / 2 \text{ --- (15)}$$

Al pasar dividiendo P y  $\frac{\pi}{4}(B^2 - C^2)$ , resulta:

$$\frac{\frac{\pi}{4}(B^2 - A^2)}{\frac{\pi}{4}(B^2 - C^2)} = \frac{(P - P_b) / 2}{P} \text{ --- (16)}$$

Eliminando términos queda:

$$\frac{B^2 - A^2}{B^2 - C^2} = \frac{(P - P_b) / 2}{P} \text{ --- (17)}$$

De donde:

$$\frac{B^2 - A^2}{B^2 - C^2} \times 100 = B \text{ --- (18)}$$

## SELLOS MECANICOS



Y "B" es el por ciento de balance.

Si  $B \geq 100\%$ , el sello sufre desbalanceo.

Si  $B < 100\%$ , el balance del sello es aceptable.

Por ejemplo, al obtener del por ciento de balance 65, significa que la presión estática de la cara es sólo 65% de la presión total actuante en el estopero.

Aún con todas las ventajas que presenta un sello balanceado, el fabricante flexibox recomienda no hacer uso de éste, cuando no es indispensable, ya que de acuerdo a un estudio realizado, pueden ocurrir los siguientes efectos contrarios.

1. Un incremento en fugas por poca fuerza de cierre en las caras.
2. Mayor susceptibilidad de no movimiento axial debido a que los resortes pueden no proveer este movimiento.
3. Inmovilidad de las caras.

Los demás fabricantes de sellos mecánicos aseguran que por economía, el empleo de un sello balanceado no es aconsejable hacerlo, de no ser necesario, pero que no existe ningún inconveniente si se utiliza. Lo cierto es que la norma API-610 solicita que todos los sellos mecánicos sean balanceados.

### III.4. PRESION EN LA CAMARA DEL SELLO SEGUN EL DISEÑO DEL IMPULSOR.

La presión de la cámara del sello, varía de acuerdo al diseño del impulsor y tipo de bomba, siendo sus límites; mínimo, la presión de succión y máximo, la presión de descarga, es decir, la presión en la cámara del sello, siempre debe estar entre éstos dos valores.

## SELLOS MECANICOS



Para asegurar que opere eficientemente el sello mecánico, fabricantes del equipo, recomiendan que la presión en la cámara del sello se encuentre a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> (21.33 psi), por encima de la presión de succión pero no mayor de 10 Kg/cm<sup>2</sup> (142.2 psi) de ésta.

A continuación aparecen las ecuaciones proporcionadas por la compañía Flexibox, para calcular en forma estimativa, la presión de la cámara del sello. Aunque definitivamente, es información confidencial de diseño de cada fabricante de bombas.

## ALABES POSTERIORES

Presión en la cámara del sello = presión de succión + 25% de la presión diferencial

$$P_{cs} = P_s + 0.25 (P_d - P_s)$$

## ORIFICIOS DE BALANCEO

Presión en la cámara del sello = presión de succión + 10% de la presión diferencial

$$P_{cs} = P_s + 0.1 (P_d - P_s)$$

## DOBLE SUCCION

Presión en la cámara del sello = presión en la succión

donde: Presión diferencial = Presión de descarga - Presión de succión.

Para equipos de bombeo que manejen líquidos en condiciones cercanas a su punto de ebullición, tales como gases en estado líquido (un ejemplo lo constituye el propano), la

## **SELLOS MECANICOS**



presión en la cámara del sello debe ser por lo menos 25 psig mayor que la presión de succión, para evitar flasheo.

La cantidad de calor generado depende del área de contacto en las caras, la viscosidad del líquido, la presión, el tamaño del sello y la velocidad de rotación.

Cuando el lubricante tiene una gravedad específica baja, las caras del sello deben ser angostas, o de diferente área de contacto, para que la película de líquido que circula entre ellas, sólo permanezca el tiempo necesario para absorber el calor sin que empiece a ebullición.

### **III.5. PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS Y CONDICIONES DE OPERACION QUE AFECTAN EN LA SELECCION DE UN SELLO MECANICO.**

Existen algunas propiedades de los líquidos que afectan significativamente para la selección del sello mecánico así como la bomba, entre las que se encuentran:

#### **III.5.1. DENSIDAD RELATIVA:**

La densidad relativa o gravedad específica, afecta a la carga requerida para dar una diferencial de presión estipulada; el flujo másico para un flujo volumétrico dado, y la potencia requerida por la bomba.

#### **III.5.2. VISCOSIDAD:**

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que puede influir de manera decisiva en la selección del tipo de bomba; afecta la eficiencia y características carga-capacidad del equipo, requiriendo de mayor potencia.

## **SELLOS MECANICOS**



Si el líquido es altamente viscoso, dificulta el arranque de la bomba, siendo necesario recurrir al calentamiento del fluido de la carcasa.

### **III.5.3. CORROSIVIDAD:**

Afecta los materiales de construcción de la bomba, sello mecánico y tuberías en contacto con el producto. Los sistemas de lubricación para el sello deben ser provistos de una fuente externa.

### **III.5.4. CONTENIDO DE SOLIDOS:**

a) **SOLIDOS EN SUSPENSION** : Cuando se encuentran sólidos en el líquido bombeado, éstos pueden obstruir los resortes, elastómeros y empaques, elementos encargados de compensar el movimiento del eje para evitar la pérdida momentánea de contacto entre caras. Lo que ocasionaría la falla del sello mecánico.

Además los sólidos en suspensión, tienden a erosionar las caras del sello, por lo que deben ser de materiales especiales al igual que la bomba. Y el líquido lubricante ser limpio y frío proveniente de una fuente externa.

Cuando el flujo neutral no es posible tener, la solución puede ocurrir a través del uso de filtros o separadores ciclónicos, pero no en todos los casos es efectivo.

Al emplear sellos dobles; en el asiento más cercano al impulsor de la bomba, se tiende a acumular depósitos de sólidos y ocasionar escapes.

El contenido de sólidos afecta en el tamaño del pasaje de flujo y tipo de impulsor, así como su velocidad periférica.



## SELLOS MECANICOS



b) **SOLIDOS EN SOLUCION:** En el caso de bombear sólidos en solución, por ejemplo: agua con sosa cáustica; pequeños depósitos de éstos sólidos, comienzan a acumularse debido a la vaporización del líquido, el cual no arrastra los sólidos consigo. La solución es, inyectar un fluido de barrido (quench), que remueva los sólidos, para después ser drenados. El fluido puede ser agua, vapor u otro líquido limpio y la inyección pasa a través de la brida del sello al asiento. Esta acción se realiza al arranque del equipo.

### III.5.5. LIQUIDO TOXICO:

Al ser tóxico el líquido bombeado, puede causar graves daños de salud a los operarios, por lo que es indispensable evitar fugas del producto, para lo cual, el empleo de sellos múltiples es la solución.

De igual manera, las condiciones de operación influyen sobre la selección del sello mecánico, entre las más significativas están:

### III.5.6. TEMPERATURA:

La temperatura de operación es la condición que más variaciones ofrece para la selección de la bomba y el sello mecánico, debido a que afecta significativamente las propiedades de los fluidos, además de modificar el comportamiento y las características de los materiales. Por mencionar se presentan los siguientes ejemplos:

- En el caso del Coque y la Melaza, cuando la temperatura de operación es inferior a los 200°F, se vuelven muy viscosos.
- La presión de vapor se incrementa conforme aumenta la temperatura.

## SELLOS MECANICOS



- Los hidrocarburos líquidos en su mayoría se vuelven altamente volátiles si operan a bajas temperaturas
- La velocidad de corrosión en los aceros aumenta, al operar con altas temperaturas.
- La expansión térmica de las partes de la bomba tienden a distorsionar los claros internos y el alineamiento de la flecha, dañando directamente al sello mecánico y rodamientos.
- Algunos materiales pierden resistencia a la corrosión a temperaturas extremas.

El API-610 recomienda que para temperaturas de operación, superiores a 350°F la bomba horizontal debe ir montada a línea de centros; si es mayor a los 400°F, la carcasa debe ser de corte radial, y si está por encima de los 600°F, se requiere de un diseño especial del sello mecánico.

### III.5.7. NPSH Y CAVITACION:

El NPSH (Net Positive Suction Head), que en Español significa, Carga Neta Positiva de Succión (CNPS), es la energía total del líquido a la succión de la bomba menos la presión de vapor, transformadas en carga.

Existen dos acepciones del NPSH, el Disponible y el Requerido.

El NPSHA (disponible), es una característica propia del sistema y se define como la cantidad de carga necesaria a la succión de la bomba, para evitar CAVITACION.

La CAVITACION es la formación de burbujas de vapor en el flujo, que se colapsan al pasar de una zona de baja presión a una zona de máxima presión dada en el diámetro máximo

## SELLOS MECANICOS



del impulsor y se presenta, cuando la energía en la línea de succión es menor que la presión de vapor del líquido.

Un líquido aumenta considerablemente de volumen al vaporizar y los efectos de cavitación son tremendamente destructivos, detectándose ruidos anormales, vibración, etc. Si se opera bajo condiciones de cavitación durante mucho tiempo, pueden producirse los siguiente daños:

- Destrucción de los álabes del impulsor.
- Fallas en los baleros.
- Ruptura de la flecha y otras fallas por fatiga de la bomba.
- Y daños muy serios a los sellos mecánicos.

Aparentemente no existe relación entre la cavitación y la falla del sello, pero no es así. Entre uno de los efectos que se presentan al cavitación una bomba, es la excesiva vibración, de la que se originan oscilaciones y desalineamiento de la flecha. Se conoce de antemano, que el accesorio más delicado de la bomba es el sello mecánico, el cual tolera desalineamientos muy limitados, por lo que al exceder éstos límites, el sello se daña, y las consecuencias aparecen en forma de desgaste rápido de los pernos y ranuras de los mismos, resortes rotos, desgaste de la flecha en donde están los sellos secundarios y roturas de las caras de carbón, piezas fundamentales del sellado.

También la cavitación puede afectar, cuando la lubricación de las caras del sello, proviene de la descarga de la bomba, y la presión de vapor que tiene el líquido es igual o mayor que la presión de la cámara del sello.

De lo anterior se deduce que para bombear un fluido de manera efectiva sin dañar el equipo de bombeo, debe mantenerse en forma líquida.

## SELLOS MECANICOS



A continuación se muestran las fórmulas de NPSHA (disponible), para los cuatro sistemas típicos de succión:

1. Suministro de succión abajo de la línea de centros de la bomba y abierto a la atmósfera.

$$NPSHA = P_B - (V_p + L_S + h_f)$$

2. Suministro de succión arriba de la línea de centros de la bomba y abierto a la atmósfera.

$$NPSHA = P_B + L_H - (V_p + h_f)$$

3. Suministro de succión cerrado y abajo de la línea de centros de la bomba.

$$NPSHA = P - (V_p + L_S + h_f)$$

4. Suministro de succión cerrado y arriba de la línea de centros de la bomba.

$$NPSHA = P + L_H - (V_p + h_f)$$

Donde:

$P_B$  = Presión barométrica (en pies).

$P$  = Presión absoluta = Presión atmosférica + Presión manométrica.

$V_p$  = Presión de vapor del líquido, a su máxima temperatura de bombeo (en pies).

$L_S$  = Altura estática de succión en pies, del nivel del líquido a bombear, al ojo del impulsor de la bomba.

$L_H$  = Carga estática de succión en pies, del nivel del líquido a bombear al ojo del impulsor de la bomba.



$h_f$  = Pérdidas de presión por fricción, en la línea de succión (pies).

El NPSHR (requerido), es la "carga" positiva en pies, que es necesaria para superar las caídas de presión, de la succión de la bomba a los álabes del impulsor y mantener la energía del líquido arriba de su presión de vapor. Varía con el diseño, tamaño y velocidad de la bomba, así como con las condiciones de operación.

El NPSHA (disponible), debe ser siempre mayor que el NPSHR (requerido) de la bomba, para evitar cavitación, y es aconsejable que al menos sea de 2 pies de diferencia.

### III.5.8. PRESION DE VAPOR:

Las curvas típicas de presión de vapor para hidrocarburos ligeros aparecen en la gráfica I y en la II para líquidos comunes.

La información de la tabla "A" es un resumen de las curvas de hidrocarburos ligeros.

**TABLA "A".- Hidrocarburos ligeros.**

PRODUCTO	PRESION DE VAPOR (Pais).		
	50°F	0°F	(A-B)
Butano	18	5.4	12.6
Isobutano	31	12	19
Propano	82	35	47
Propileno	103	47	56
Etano	420	210	210
Acetileno	520	225	295
Etileno	790	420	370

## SELLOS MECANICOS



De la tabla "A" se deduce, que para el butano a 50°F y 10 Psia, es un gas, por lo que para poderlo mantener en forma líquida, requiere una presión de 18 Psia, o bien, reducir su temperatura a menos de 25°F. La última columna de la tabla, da una importante información, ya que aquí, puede compararse, para que hidrocarburos varía notablemente la presión de vapor, con una diferencia de temperaturas dada. Por lo que, si la remoción de calor no es efectiva en el sello en cuestión, un pequeño incremento de temperatura, puede ocasionar una fase de vapor, para el caso de ser la presión de vapor, similar a la presión en la caja del estopero, o también, donde pequeñas diferencias de temperatura tienen un cambio mayor en la presión de vapor del fluido.

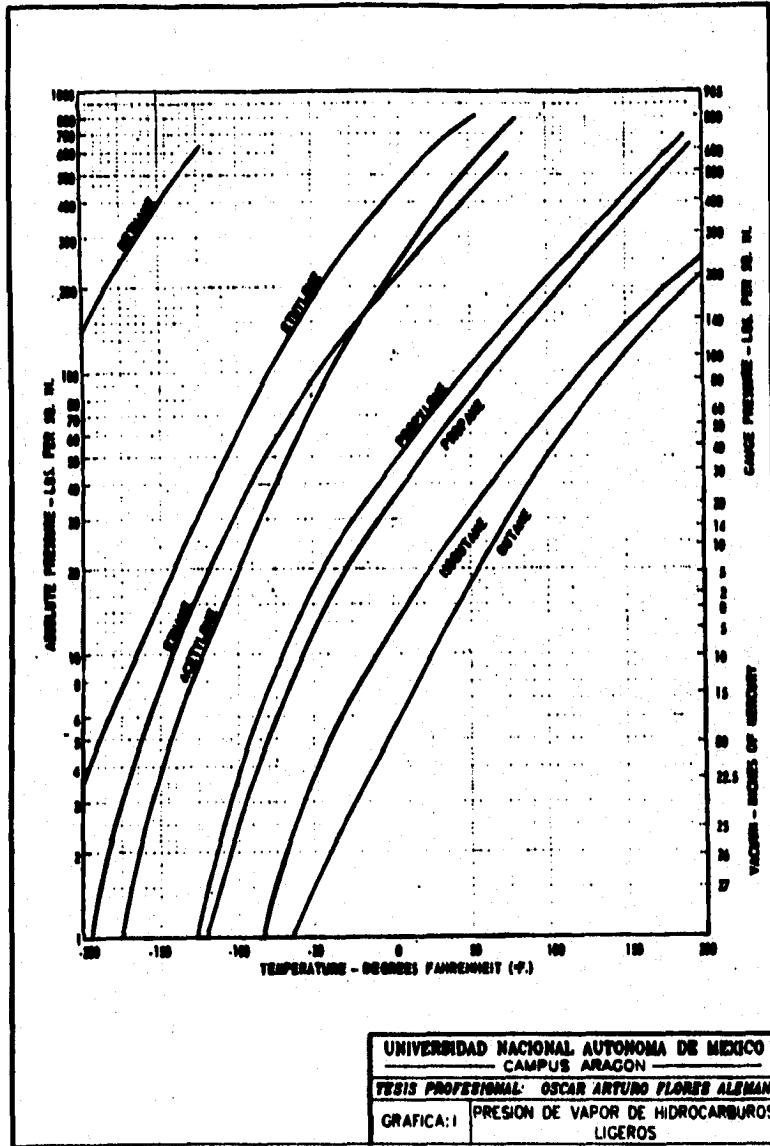
### III.5.9. ALTA PRESION DE SUCCION:

Cuando la presión de succión es alta, el funcionamiento del sello se vuelve crítico, debido a que existe una presión diferencial alta a través del sello, también la carga hidráulica en las caras tiende a ser mayor, ocasionando una condición de desbalanceo. Por otra parte, el empuje axial sobre los rodamientos es también alto. Para evitarlo, es recomendable utilizar sellos balanceados, para presiones de sellado mayores a 75 psig.

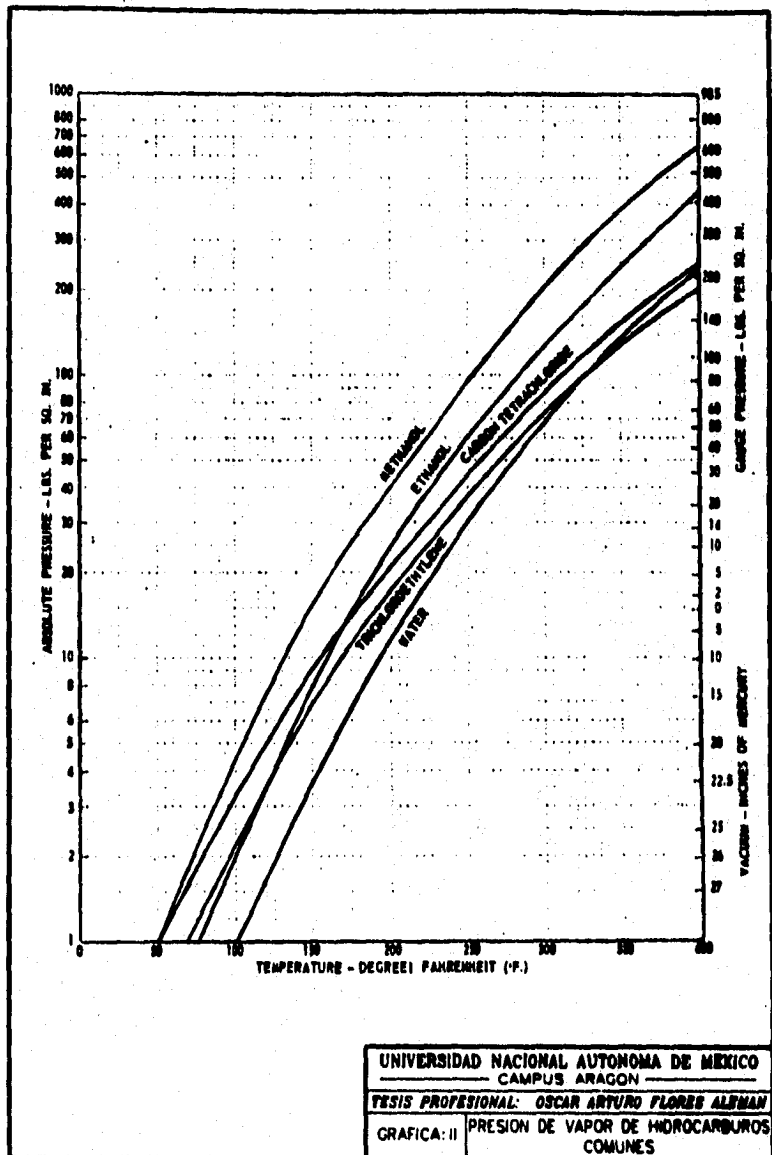
### III.6. CLASIFICACION DE SELLOS MECANICOS DE ACUERDO A LA NORMA API-610, 7ª ED.

Varios comentarios hacen referencia al estándar API-610, pero que significa y que aplicación tiene. El estándar API-610 (American Petroleum Institute, sección 610), es una especificación que cubre con los requerimientos mínimos de diseño, manufactura, selección y compra de bombas centrífugas, para servicios de Refinerías Petroleras.

**SELLOS MECANICOS**



**SELLOS MECANICOS**





## **SELLOS MECANICOS**



Todos los estándares API-610, son escritos y revisados, mediante un comité integrado por usuarios, contratistas y fabricantes de equipos originales, de tal forma, que el resultado final es un consenso de todas las ideas, aportaciones y requerimientos de cada participante.

Generalmente, cada cinco años es elaborada una nueva revisión al API-610. En éste momento, está vigente la séptima edición, publicada en febrero de 1989 y a partir de unos meses se emitió la octava edición, la cual, en México, todavía no está en práctica, además, no tarda en publicarse, si es que no ha ocurrido, un nuevo estándar que trata exclusivamente de sellos mecánicos, con el apartado 682.

Por ser el sello mecánico un accesorio integral de la bomba, el API-610 dedica la sección 2.7 para especificarlo. Cabe aclarar que éste estándar no cubre el diseño de las partes componentes del sello, pero si delimita las características generales y los materiales adecuados para cumplir con un servicio específico, a través de un código de cinco (5) letras.

### **III.6.1. CODIGO DE CLASIFICACION:**

**Primer letra:** Puede especificarse una "B" (que indica ser un sello balanceado), o una "U" (de no balanceado).

**Segunda letra:** Al aparecer una letra "S" (significa que debe ser un sello sencillo), una "D" (un sello Doble) y una "T" (un sello Tandem).

**Tercer letra:** Aquí se especifica como debe ser el retén del lado atmosférico del sello. Una "P" (significa ser plano o simple), una "T" (indica que en el interior, lleva un buje de restricción y requiere de conexiones para venteo y drene), y la letra "A" (expresa, que es necesario tener un dispositivo auxiliar de sellado).

**SELLOS MECANICOS**



El retén plano es solicitado para sellos secos. La brida con buje de restricción es provista para sellos simples y dobles, ya que permite el control de fugas menores y minimiza la fuga, si llegan a fallar. El buje de restricción puede también solicitarse para sellos tandem. El dispositivo de sellado auxiliar es una restricción adicional, que evita la fuga si llega a presentar falla el sello.

Cuarta letra: Con ella se especifica el material del sellado secundario (juntas, empaques, "O" rings). Para su referencia, consultar la tabla H-4.

TABLA H-4.- MATERIAL DEL SELLADO SECUNDARIO								
Parte	E	F	G	H	I	R	X	Z
Empaquetadura del elemento estacionario	Fluoroelastómero	Fluoroelastómero	PTFE	Nitrilo	FFKM elastómero	Grafito laminado	Como se especifique	espiral-devanado
Empaquetadura de la camisa (rotatorio)	PTFE	Fluoroelastómero	PTFE	Nitrilo	FFKM elastómero	Grafito laminado	Como se especifique	Grafito laminado

Al seleccionar el material de empaquetadura más conveniente para el servicio, deben revisarse sus límites de temperatura, indicados en la tabla H-6, ya que en algunos casos, erróneamente se cree haber seleccionado el material más adecuado para el producto, pero resulta que está operando fuera del rango límite de temperatura, por lo que el material elegido no es el apropiado, siendo necesario especificar otro.

Material del empaque	TABLA H-6.- LÍMITES DE TEMPERATURA EN EMPAQUETADURAS Y FUELLES	
	Temperatura Ambiente o de Bombeo (°F)	
	Mínima	Máxima
PTFE	-100	+400
Nitrilo (Buna-N)	-40	+250
Neopreno	0	+200



Cont... tabla A.

Material del empaque	Temperatura Ambiente o de Bombeo (°F)	
	Mínima	Máxima
Fluoroelastómero	0	+400
Fuelle metálico	*	*
Elastómero FFKM	+10	+500
Grafito laminado	-400	+750
Relleno-vidriado TFE	-350	+450
Asbestos	-400	+1300
Mica/grafito	-400	+1300

\* Consultar fabricante

Aunque aparentemente el Elastómero FFKM conocido comúnmente como kalrez, es ampliamente recomendado para líquidos muy corrosivos que operan a altas temperaturas, lo anterior no debe tomarse como cierto, debido a que existen muchas clases de kalrez y no todas cubren ambas cualidades, por lo que se sugiere buscar otras opciones, que garanticen un buen servicio, antes de recurrir al uso de éste material.

Quinta letra: Sirve para especificar los materiales de las caras, por lo que debe recurrirse a la tabla H-5.

Parte	L	M	N	X
Cara estacionaria	Carbón	Carbón	Carbón	Como se especifique
Cara rotatoria	Carburo de tungsteno-1 (al Cobalto)	Carburo de tungsteno-2 (al níquel)	Carburo de silicio	Como se especifique

## SELLOS MECANICOS



Observar de la tabla anterior, que la cara estacionaria es de un material blando, para desgaste y la cara rotatoria de un material duro, pero no es una regla, es decir, puede ser viceversa, siempre y cuando, permanezca una diferencia de dureza entre caras. Si hay que especificar los materiales, tener la precaución de no elegir carburo de tungsteno I contra carburo de tungsteno II, debido a que son de durezas similares. Otra recomendación es no emplear carburo de tungsteno I (al cobalto), debido a que puede producir cáncer.

### III.7. LUBRICACION.

Debido a que el funcionamiento de cualquier sello mecánico, tiene base, en el principio de tener dos superficies pulimentadas en contacto, una girando sobre la otra; existe entre ellas, una generación de calor por fricción, que es necesario remover. Para lograrlo, es indispensable circular líquido entre las caras, el cual, posteriormente recorra todo el sello, hasta desembocar en el flujo principal del equipo. A éste arreglo se le conoce con el nombre de lubricación, circulación, o flush.

El líquido de circulación debe estar limpio, con una temperatura menor a los 82°C (180°F) en las caras, tener una presión de 2 Kg/cm<sup>2</sup> (28 psig), mayor que la presión de la cámara del sello, y tener propiedades lubricantes.

### III.8. PLANES DE LUBRICACION:

Para que funcione satisfactoriamente el sello mecánico, la lubricación debe estar a una temperatura, presión y flujo controlados; para conseguirlo, existen arreglos de tubería combinados con accesorios, llamados planes de lubricación, los cuales, son identificados, por un número. Cada uno de éstos planes es solicitado, dependiendo las características del líquido y condiciones de operación.

## SELLOS MECANICOS



Los planes de lubricación mostrados en las figuras 3.7 y 3.8 son para sellos simples o sellos primarios de arreglos tandem, montados en bombas horizontales, excepto el plan 13, que sólo sirve para bombas verticales y casos muy especiales de bombas horizontales.

En la figura 3.9 están los arreglos de lavado auxiliar.

Para el conocimiento de los accesorios involucrados en los planes de lubricación y enfriamiento, consultar en la figura 3.10, la nomenclatura.

Los planes 1, 11, 12, 13, 21, 22, 23, 32, 51, 52, 53 y 54, requieren de líquidos limpios, de los cuales, los cuatro primeros, son utilizados cuando la temperatura del producto es menor a 180°F. De ser superior a éste valor, deben solicitarse planes con cambiador de calor, es decir, el 21, 22 y 23, o bien, especificar un plan 32, que provee líquido de una fuente externa.

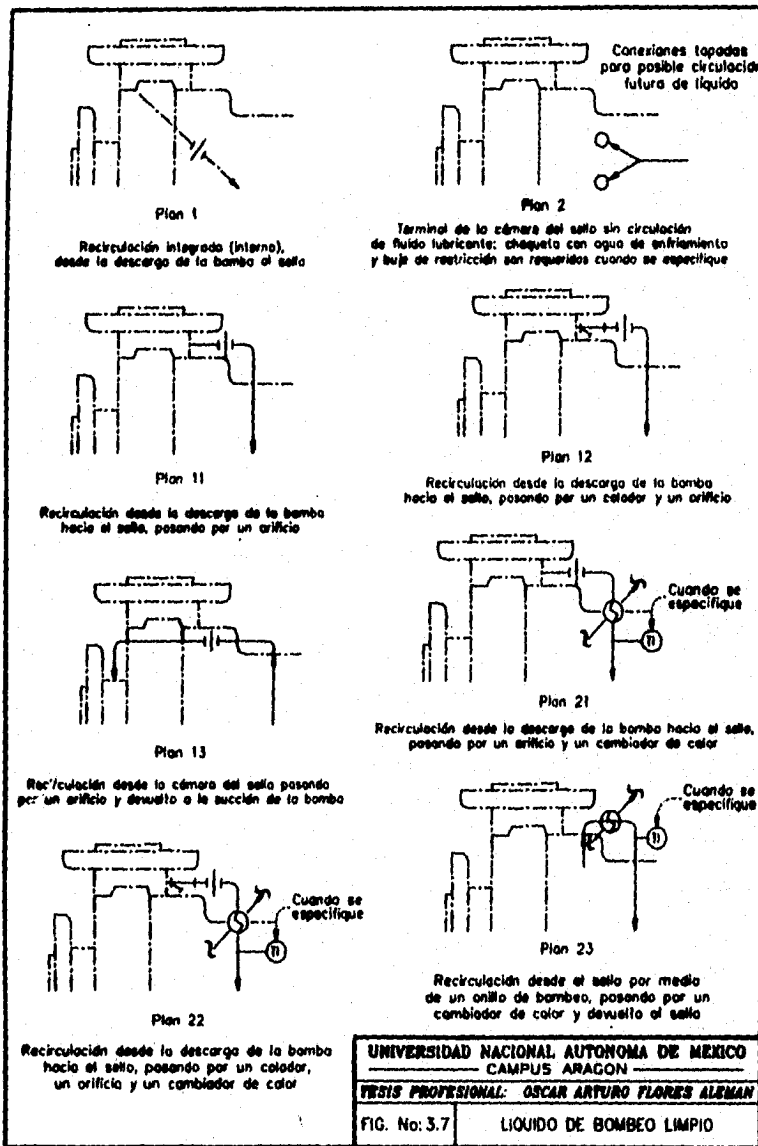
El plan 51 generalmente sirve para sellos sencillos, consta de un fluido externo contenido en la brida del sello y es necesario cuando los líquidos presentan congelación en tuberías.

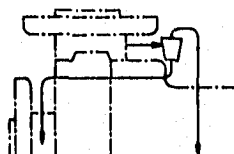
Los planes 52, 53 y 54 aplican para sellos múltiples y son provistos de un líquido externo. El 52, es para sellos tandem. El 53 y 54 son para sellos dobles. La diferencia en emplear un plan 53 y un 54 radica en que si se requiere un sistema cerrado e independiente el plan a emplear es el 53.

Los planes 31 y 41, son útiles, si el producto contiene sólidos en suspensión.

Tanto el plan 2 como el 61, tienen conexiones taponadas y se solicitan al preverse una circulación de fluido futura.

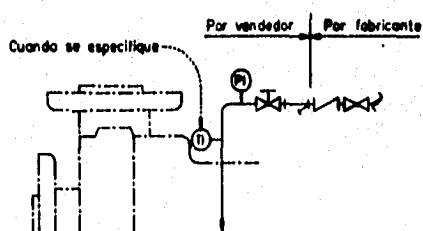
**SELLOS MECANICOS**





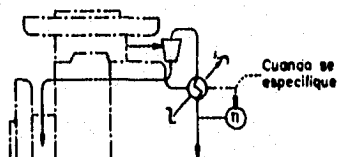
Plan 31

Recirculación desde la descarga de la bomba pasando por un separador ciclónico para entregar el fluido limpio al sello y el fluido con sólidos devuelto a la succión de la bomba



Plan 32

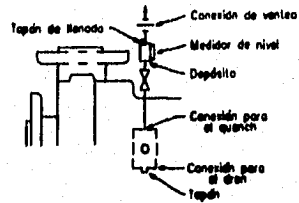
Inyección de fluido limpio al sello desde una fuente externa



Plan 41

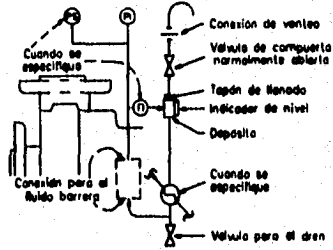
Recirculación desde la descarga de la bomba que pasa por un separador ciclónico, en donde el fluido limpio circula en un cambiador de calor y se entrega al sello y el fluido con sólidos es devuelto a la succión de la bomba

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
CAMPUS ARAGON	
TESIS PROFESIONAL: OSCAR ARTURO FLORES ALZAMAN	
FIG. No: 3.8	LIQUIDO DE BOMBEO ESPECIAL O SUCIO



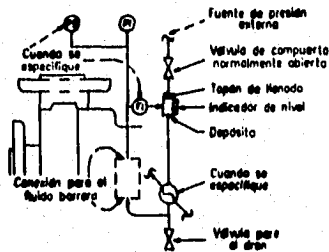
Plan 51

Sistema agregado al extremo (usualmente manual), empleado típicamente en dispositivos de sellado auxiliar (solo en arreglo simple o doble)



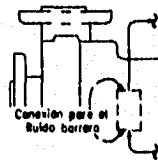
Plan 52

Depósito con fluido externo no presurizado con circulación forzada, típicamente usado en sellos tandem



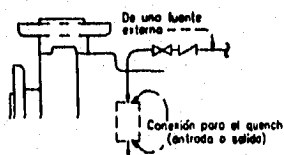
Plan 53

Depósito con fluido externo presurizado en circulación forzada, típicamente usado en sellos dobles



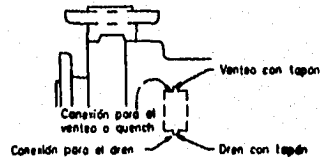
Plan 54

Circulación de fluido limpio desde un sistema externo, típicamente usado en sellos dobles



Plan 62

Fluido externo para el quench (vapor, gas, agua, etc.), típicamente usado con buje de restricción o dispositivo de sellado auxiliar



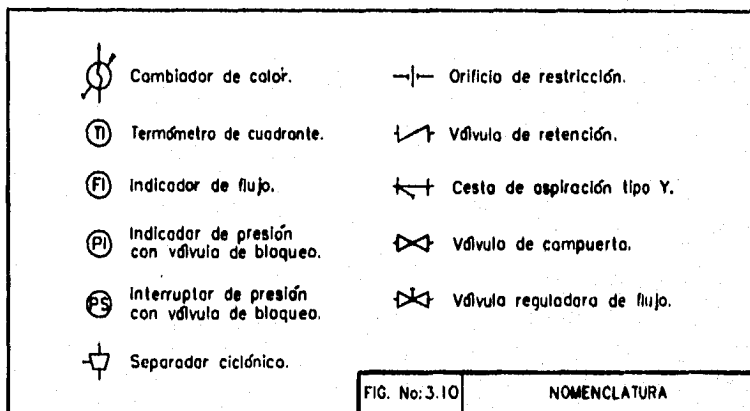
Plan 61

Conexiones tapadas para uso del comprador. Aplica cuando el comprador suministra el fluido (vapor, gas, agua, etc.) a un dispositivo de sellado auxiliar

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
CAMPUS ARAGON  
TESIS PROFESIONAL: OSCAR ARTURO FLORES ALEMAN  
FIG. No: 3.9 PLANES AUXILIARES DE LUBRICACION



## SELLOS MECANICOS



El plan 62 comúnmente es requerido, cuando se tiene un sello simple y el líquido bombeado cristaliza a condiciones atmosféricas, como ocurre con la sosa cáustica. Al tener un sello múltiple, el quench ya no es necesario, debido a que éste emplea un líquido barrera, el cual impide que el producto tenga contacto con la atmósfera.

### III.9. COMO EVITAN LOS SELLOS MULTIPLES QUE FUGUE EL LIQUIDO BOMBEADO.

Tanto el arreglo doble como el tandem, evitan la fuga del producto, por medio de la circulación de un líquido externo para sello, con una presión y temperatura controladas.

En el doble, el líquido es inyectado en la cavidad, a una presión mayor que la presión de funcionamiento del estopero, con una diferencia mínima de 25 psi. El líquido lubricante forma una barrera que evita al producto pasar a través del sello interno, por el contrario, el líquido barrera fuga por éste medio hacia el estopero, mezclándose con el producto. Por lo que si llega a fallar cualquiera de los sellos de un arreglo doble, la presión del líquido barrera evita al líquido bombeado fugar a la atmósfera.

## SELLOS MECANICOS



En un arreglo tandem, el líquido en la cavidad del sello se utiliza como barrera a la atmósfera y está a una presión menor que la existente en el estopero. Por tanto, las fugas del sello interno son del estopero a la cavidad que contiene el líquido barrera, donde la mezcla es canalizada a una línea de recuperación. A diferencia del sello doble, el sello interno de un arreglo tandem, utiliza lavado para eliminar el calor por fricción.

En una cámara de mayor presión que la del estopero, está montado el sello externo, el cual sirve de respaldo al primario. De manera que si llega a fallar éste último, es probable, que fugue el producto. Por eso se afirma, que un sello doble es más confiable que un sello tandem.

Existen dos consideraciones básicas que afectan en la selección del líquido barrera.

1. Debe ser un líquido estable, con propiedades lubricantes.
2. En cualquiera de los arreglos de sellos múltiples, está presente la mezcla del producto y el líquido barrera, debiendo ser por lo tanto compatibles.

A continuación se indican los líquidos selladores convenientes:

RANGO DE TEMPERATURA	SELLADOR
-120°C a -90°C	Propano
-90°C a -30°C	Metanol o propano
-30°C a 20°C	Queroseno o aceite hidráulico
20°C a 200°C	Aceite ligero o gasóleo

Como recomendación general, puede usarse un aceite ligero del que normalmente se dispone en las refinerías para aplicaciones de sellado de hidrocarburos. Pero definitivamente hay que adecuarse a las disposiciones de la planta, considerando lo antes expuesto.



### III.10. PLANES DE ENFRIAMIENTO:

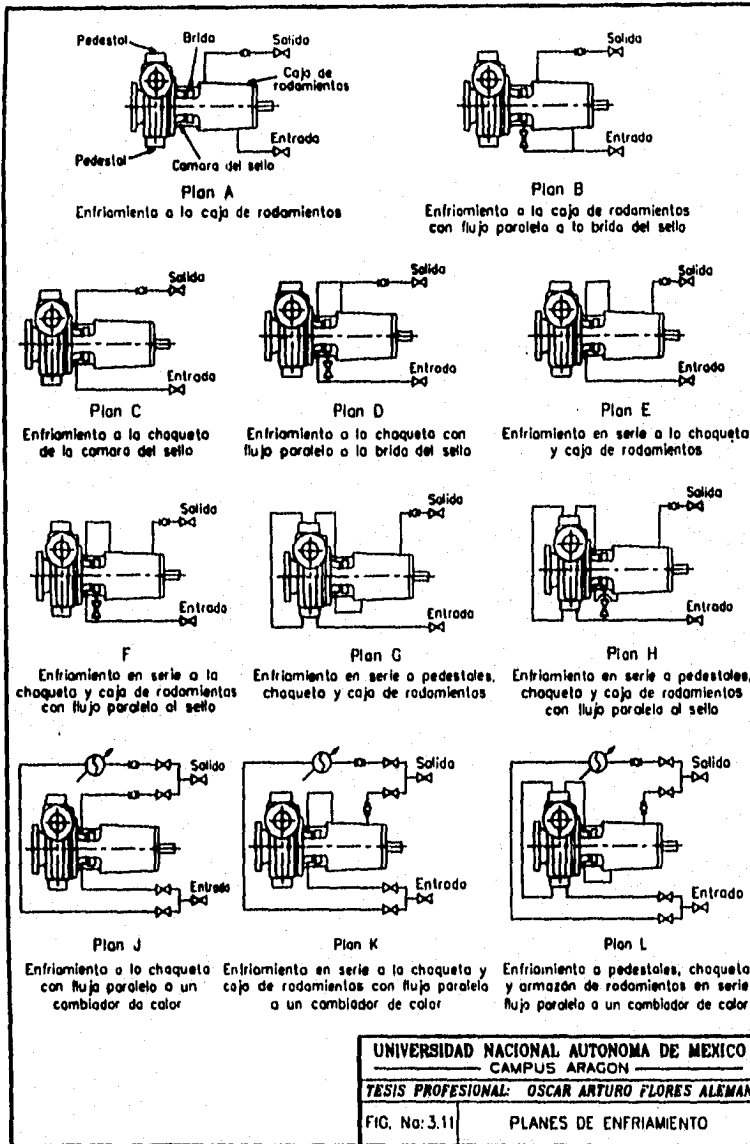
Cuando la temperatura de operación es muy elevada, el equipo de bombeo y sus accesorios pueden sufrir serios daños, por lo que es necesario, mantenerlos dentro de ciertos límites de temperatura, para ello, se requiere de un sistema de enfriamiento.

Los diagramas típicos de tubería para enfriamiento por agua, a bombas centrífugas con montaje del impulsor en cantiliver, aparecen en la figura 3.11, de donde puede elegirse, el arreglo más conveniente según las condiciones.

Los criterios de selección para los planes de enfriamiento, están en función de la temperatura de bombeo y son independientes de los planes de lubricación, aunque en algunos casos, pueden servir de complemento. Es decir, los planes de lubricación logran que el sello tenga las condiciones adecuadas para que realice su función y los planes de enfriamiento, protegen a todo el equipo de las altas temperaturas. Ver el siguiente ejemplo:

Se tiene un hidrocarburo con trazas de Acido fluorhídrico, el cual está a una temperatura de 450°F. El sello mecánico más conveniente, es un arreglo doble, lubricado por un plan 53 que contenga un cambiador de calor. Como fue referido anteriormente, el plan 53, utiliza un líquido frío proveniente de una fuente externa. Independientemente de lo anterior, debe utilizarse un arreglo que enfríe el alojamiento del sello y caja de rodamientos, debido a que hay transferencia de calor del producto por conducción y convección.

Para elegir el arreglo de enfriamiento adecuado deben considerarse los siguientes rangos de temperatura. Cabe mencionar que mientras mayor es el valor de la temperatura, mayor es la cantidad de partes de la bomba que requieren enfriamiento.



## **SELLOS MECANICOS**



Si la temperatura es superior a 249°F, es necesario suministrar enfriamiento a la caja de rodamientos. Esta condición no debe tomarse como regla, si se conoce que el equipo de bombeo, tiene integrado un ventilador, con el que puede soportar temperaturas hasta de 600°F.

Con temperaturas superiores a 300°F y menores a 600°F, existen dos opciones:

1. Pedir que la bomba tenga chaquetas de enfriamiento y emplear un sello mecánico convencional.
3. O solicitar que el sello mecánico sea de fuelle metálico.

Antes de elegir, es conveniente verificar, si existe material de empaque resistente al ataque químico del producto, y además soporte la alta temperatura de operación.

Para temperaturas superiores a los 570°F deben enfriarse los pedestales. Algunos fabricantes de bombas, consideran que el enfriamiento en ésta zona debe ser a partir de los 450°F.

Si la temperatura es de 600°F o superior, necesariamente la bomba requiere de un sello de fuelle metálico y chaquetas de enfriamiento.

### **III.11. MATERIALES DE CONSTRUCCION:**

Los materiales de construcción adecuados de un sello, no sólo deben basarse en la lista de materiales recomendados para el sellado de fluidos, también hay que considerar, las propiedades mecánicas del material, es decir, de acuerdo al servicio, un material puede ofrecer mayores ventajas que otro, siendo ambos propios para el sellado del fluido. Por tal motivo, en



la siguiente sección, se señalan las características principales de los materiales de construcción más comunes en un sello.

### III.11.1. MATERIALES DE LAS CARAS.

#### a) METALES.

- i) **Estelita:** La estelita es un buen material de desgaste, con una alta resistencia a la corrosión. Compuesto a base de Cromo y Cobalto, con un pequeño por ciento de níquel, acero y tungsteno. No obstante, la estelita no es recomendable para usos en agua, porque tiende a disolver el cobalto.
- ii) **Ni-Resist:** Este es un material económico, que en algunos casos es usado en servicios suavemente corrosivos. El Ni-Resist es un material de hierro fundido de 42-67%, con 13-32% Níquel, 10% Cobre y pequeños contenidos de otros metales. Usualmente aplicable, en el sellado de productos derivados del petróleo.
- iii) **Bronce:** Tiene mayor resistencia a la abrasión que el carbón. Empleado extensivamente en corrientes de agua, acueductos y servicios de aceite crudo. Es excelente contraparte de sellamiento principal, cuando es utilizado contra una cara de carburo de tungsteno, en servicios abrasivos.
- iv) **Hastelloy (B o C):** Principalmente empleado en unidades de compresión, que requieren un alto grado de resistencia a la corrosión y casi es inerte al ataque químico.



**b) CERAMICAS:**

Ofrecen excelentes características de desgaste, debido básicamente a su dureza. Poseen propiedades químicamente inertes, que hacen de su uso deseable, cuando son empleadas en combinación con materiales de cara no metálicas, para sellar líquidos difíciles. Los anillos cerámicos de sellado, deben tratarse con extremo cuidado, ya que son susceptibles a fractura por choque térmico o mecánico. En oposición a su gran desventaja, siguen siendo populares por su costo económico. Los anillos cerámicos se clasifican en sólidos y de cara de cerámica.

**c) CARBUROS.**

- i) **Carburo de tungsteno:** Posee cualidades de dureza superior, un amplio rango de inatacabilidad química y excelentes propiedades de antifricción. Consecuentemente es el material de cara disponible más versátil. El carburo de tungsteno, es rutinariamente aplicado en servicios de alta presión, donde en forma sólida, su coeficiente de elasticidad es una valiosa posesión en prevención de la distorsión de caras. También exhibe una sobresaliente característica de desgaste en presencia de líquidos con cualidades de lubricación extremadamente pobres. Existen dos tipos de carburo de tungsteno y son al Níquel y al Cobalto. El carburo de tungsteno al Níquel tiene un amplio rango de aplicaciones. Conveniente en el sellado de agua caliente, productos derivados del petróleo y la mayoría de químicos. El carburo de tungsteno al Cobalto, es utilizado en ambientes donde, el aglomerado de Níquel pueda ser atacado, tal como la amoníaco.



ii) **Carburo de Silicio:** De todos los carburos, es el que ofrece superiores propiedades de dureza y desgaste. Su uniforme dureza y alta densidad, lo hacen un material, extremadamente resistente a la corrosión. lo cual, lo hace insuperable por un amplio margen de cualquier material. Su alta conductividad térmica combinada con su alta resistencia a la tensión y baja expansión térmica, logran que el carburo de silicio, tenga una excelente resistencia al choque térmico. Además tiene bajo coeficiente de fricción.

d) **CARBONES:**

Es un hecho que muchos materiales ofrecen pobres características de desgaste, cuando tienen fricción con otra superficie del mismo material. Por lo tanto, ha sido establecido, que las caras de sellamiento sean entre sí, de diferentes materiales, es decir, que una de las caras sea de un material más blando que el otro. En conocimiento a éstos requerimientos, la mayoría de fabricantes de sellos, tienen estandarizado sobre carbón grafitado para una de las caras del sello. El carbón grafitado es compatible con un rango extremadamente amplio de temperaturas y ambientes corrosivos. En oposición a su atractiva propiedad de antifricción y cualidades inertes, el carbón grafitado posee un bajo coeficiente de elasticidad, por lo que sufre muy fácilmente de dobleces y deformaciones con sobrepresiones. Aunque el carbón grafitado no está sujeto a fractura por choque térmico, es verdaderamente frágil.

**III.11.2. MATERIALES PARA EL SELLADO SECUNDARIO.**

a) **Buna N (Nitrilo):** Tiene una excelente resistencia al ataque por productos derivados del petróleo. También encuentra gran aceptación en aplicaciones





de agua. Inherentemente el Nitrilo, no posee buena resistencia al ozono, luz solar o medio ambiente.

- b) **Hypalón:** Proporciona una buena resistencia al ácido. El hypalón no es tan deseable como otros materiales elastoméricos, por lo que es usado, sólo cuando los demás materiales no soportan a un líquido en particular.
- c) **Vitón:** Conocido también como fluorocarbón rubber, es un compuesto versátil. Aplica en el manejo de aceites originados del petróleo, lubricantes base diester, fluidos de silicio, hidrocarburo halogenado, agua, vapor de baja temperatura, una amplia variedad de ácidos y muchos otros fluidos. El vitón no tolera ketones, anhídridos de amonía, aminas, hidrofluorhídricos calientes (HF), o ácidos clorosulfúricos.
- d) **Kalrez:** Este material contempla muchas de las propiedades elastoméricas del vitón en combinación con la resistencia al ataque químico y calor de la resina TFE, con ciertas ventajas sobre ambos. Tiene excelente resistencia a la corrosión por solventes, ácidos inorgánicos y orgánicos, bases, fuertes agentes oxidantes, compuestos de metal halógeno, mercurio caliente, cloro, combustibles y refrigerantes.
- e) **TFE:** Es inerte al ataque químico, por lo que frecuentemente es aplicado como sellado secundario, cuando el medio ambiente no tolera el uso de elastómeros. Sin embargo, carece de la elasticidad de aquellos. Necesariamente la superficie contraria de sellado, debe ser lisa. Por lo tanto, los elastómeros, son el tipo de sellado secundario más confiable dependiendo las condiciones de operación. Los rangos de temperatura del TFE común son:  $-100^{\circ}\text{F}$  a  $350^{\circ}\text{F}$  y para temperaturas superiores, se emplea el Teflon con carga de vidrio, que puede soportar temperaturas de  $-175^{\circ}\text{F}$  a  $450^{\circ}\text{F}$ .



- f) **Graphite foil:** Aplica donde las temperaturas de operación exceden los límites de otros materiales de sellado secundario, parcialmente inerte, vulnerable sólo para líquidos oxidantes. En adición, es altamente resistente para todas las formas de radiación nuclear. Como ocurre con el TFE, la aplicación del graphite foil, demanda la presencia de buenas superficies de acabado para proveer un sellado a prueba de fugas. Puede sufrir fácilmente daños por impacto, por lo que debe ser manejado cuidadosamente durante el proceso de instalación. Aunque probablemente ofrece una confiable y extrema versatilidad para empaques secundarios, sólo es recomendado, en aplicaciones, donde su superioridad en la resistencia a la corrosión y altas temperaturas, justifique su costo.

### III.11.3. MATERIALES DE LA UNIDAD ROTATORIA Y BRIDA DEL SELLO.

- a) **Acero inoxidable 304/316:** Son los metales comúnmente utilizados en la construcción de partes rotatorias y brida del sello. El acero inoxidable 316, es indudablemente, el material más popular, ofreciendo un nivel de resistencia a la corrosión compatible con una gran variedad de líquidos, a un costo económico. El acero inoxidable 304 es muy similar en composición, al acero inoxidable 316, excepto que el contenido de cromo es ligeramente menor y no tiene presencia de molibdeno.
- b) **Acero inoxidable 20:** Ofrece una mayor resistencia a la corrosión que el 304 ó 316, y es empleado en ambientes que atacan metales menos sofisticados, también aplica para unidades a compresión como pasadores, resortes y juegos roscados.



## SELLOS MECANICOS

- c) **Monel:** Es una aleación de Níquel-Cobre, requerido para resistir el ataque de ácidos. Porque la ausencia relativa de hierro en monel, lo hace más impermeable a la corrosión, que el acero inoxidable 20.
- d) **Hastelloys:** Compuestos de una aleación de Níquel-Molibdeno. Son a menudo empleados en ambientes altamente corrosivos que atacan al cobre en monel. El hastelloy B, contiene sólo 1% cromo y el hastelloy C, 16.5% cromo, con menos níquel-molibdeno que el encontrado en hastelloy B.

### III.12. CARACTERISTICAS DE LA BRIDA DEL SELLO.

Las partes componentes de la brida deben ser satisfactorias para la presión de diseño máxima de la cámara del sello y temperatura de bombeo, teniendo suficiente rigidez, para eliminar cualquier distorsión que perjudique la operación del sello, incluyendo la distorsión que pueda ocurrir durante el apriete de los tornillos para fijar las juntas. Las bridas preferentemente deben ser suministradas con barrenos pasados para tornillos, con una cantidad mínima de cuatro tornillos de diámetro nominal mínimo de ½ pulga (13mm).

En la figura 3.12 está representado el corte seccional de la brida para los diferentes casos de conexiones.

La brida debe contar con conexiones específicas, identificadas por símbolos estampados o fundidos en la brida, como aparece en la tabla B. La letra "I", para entrada y "O", para salida, se utilizan en conjunto con éstas marcas, donde sea apropiado. Cuando un quench con vapor es especificado, la conexión de entrada (QI) debe ser localizada en el cuadrante superior de la brida y debe contar con conexión de salida (QO), para prevenir formación de cavidades de agua.

**SELLOS MECANICOS**



ESTILO	VISTA SECCIONAL	DESCRIPCION
A		<p>Brida plana, sin buje de seguridad. La inyección es a través de la caja del estopero.</p>
B		<p>Brida con barreno para quench y dren. La inyección es a través de la caja del estopero.</p>
C		<p>Un barreno de inyección. Un barreno para drenar. Un barreno de quench.</p>
D		<p>Un barreno sala para inyección. Diseñada para no usar buje.</p>
DJ		<p>Conexiones para chaquetas de enfriamiento. Un barreno de dren en la brida especial. Un barreno de inyección.</p>

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 CAMPUS ARAGON  
 TESIS PROFESIONAL: OSCAR ARTURO FLORES ALBMAN  
 FIG. No: 3.12 BRIDAS



**TABLA B.- SIMBOLOS PARA CONEXIONES DE LA BRIDA DEL SELLO.**

SIMBOLO	CONEXION
B	Fluido barrera
C	Enfriamiento
D	Drene
F	Lavado
H	Calentamiento
Q	Quench o barrido
V	Venteo

Normalmente en la brida va alojado un buje de seguridad antichispa fijo, de la cual, en la figura 3.13, aparecen los más comunes.





ESTILO	VISTA SECCIONAL	DESCRIPCION
1		Buje de seguridad sencilla. El claro diametral en el interior no debe ser mayor a 0.025 pulgs. para diámetros de mango o flecha (si no es provisto de mango), hasta de 2 pulgs. Alojado en una caja interior de la brida.
2		Buje tipo laberinto. Es insertado en la brida
3		Buje anti-coke. Previene la formación de coke u otras impurezas requiere de inyección a baja presión. Es sujetado adecuadamente a la brida con anillo tipo seguro.
5		Estopero auxiliar para empaque. Compuesto de dos anillos preformados o moldeados. Es asegurado por el lado atmosférico de la brida por medio de tornillos.

FIG. No:3.13

BUJES

## SELLOS MECANICOS



En la figura 3.14 aparecen los diferentes tipos de manga de flecha en el área del sello.

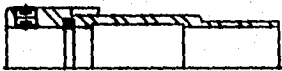
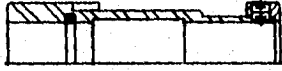
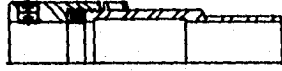
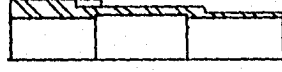
ESTILO	VISTA SECCIONAL	DESCRIPCION
1		Fijamiento de la flecha por prisionero. Empaque tipo "O" Ring.
2		Fijamiento de la flecha por collarín. Empaque tipo "O" Ring.
3		Fijamiento de la flecha por tuerca. Empaque de lellón a metal a compresión
4		Maquinado especial o como se solicite. Junta metálica o tipo "O" Ring.

FIG. No:3.14      MANGAS

### III.13. ACCESORIOS:

Dentro de los arreglos de tuberías que marca el API-610, para lubricar el sello mecánico, contempla el uso de ciertos accesorios, los cuales, se verán a continuación:

#### III.13.1. ORIFICIO DE RESTRICCION:

Es un dispositivo diseñado, para controlar la presión y flujo suministrado en la inyección a un sello mecánico, mediante un tramo de barra de acero, con un barrenado y

## SELLOS MECANICOS



calibrado previamente, según las necesidades del sello. Cuenta con conexiones hembra-macho, a partir de 1/2 pulg. NPT. Ver figura 3.15.

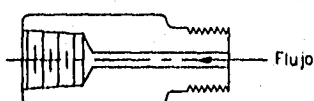


figura 3.15.- Orificio de restricción.

El orificio de restricción es principalmente empleado para planes con recirculación proveniente de la descarga de la bomba, ya que reduce la presión del producto, a un valor adecuado, de aproximadamente 25 psig., arriba de la presión del estopero.

Los propósitos de recircular el líquido bombeado al sello son:

1. Lavar el estopero para evitar la acumulación de sólidos.
2. Enfriar el estopero para evitar flasheo del producto.

El flujo normal de recirculación, está en función del tamaño del sello (diámetro de la flecha) y varía desde 1/4 GPM, para sellos de 1 1/2 pulg., a 9 GPM en sellos de 12 pulgs. El flujo debe ser controlado dentro de éstos límites para evitar erosión de las caras de carbón, causadas por el exceso de flujo a chorro.

Productos a altas temperaturas son manejados a presiones y temperaturas adecuadas dentro de los requerimientos de la presión de vapor, por lo que la recirculación es requerida sólo para propósitos de lubricación y no para proveer enfriamiento. Como el enfriamiento maneja cierto flujo, es por ésta razón que para líquidos de muy altas temperaturas, se requiera sólo 1/4 flujo normal, resultando un cambiador de calor más pequeño que el requerido.

**SELLOS MECANICOS**



**SELECCION DEL ORIFICIO DE RESTRICCION:**

Para seleccionar el diámetro del orificio, deben conocerse, la carga dinámica y gasto óptimo requerido.

La carga dinámica (H), se obtiene de la siguiente expresión:

$$H(\text{pies}) = \frac{P_d (\text{psi}) \times 2.31}{g_c}$$

donde:  $P_d$  = Presión de descarga en psig – presión de la cámara del sello en psig.

$g_c$  = Gravedad específica del producto (adimensional).

2.31 = Constante de conversión.

De la tabla C y conociendo el tamaño del sello, se determina el gasto óptimo requerido.

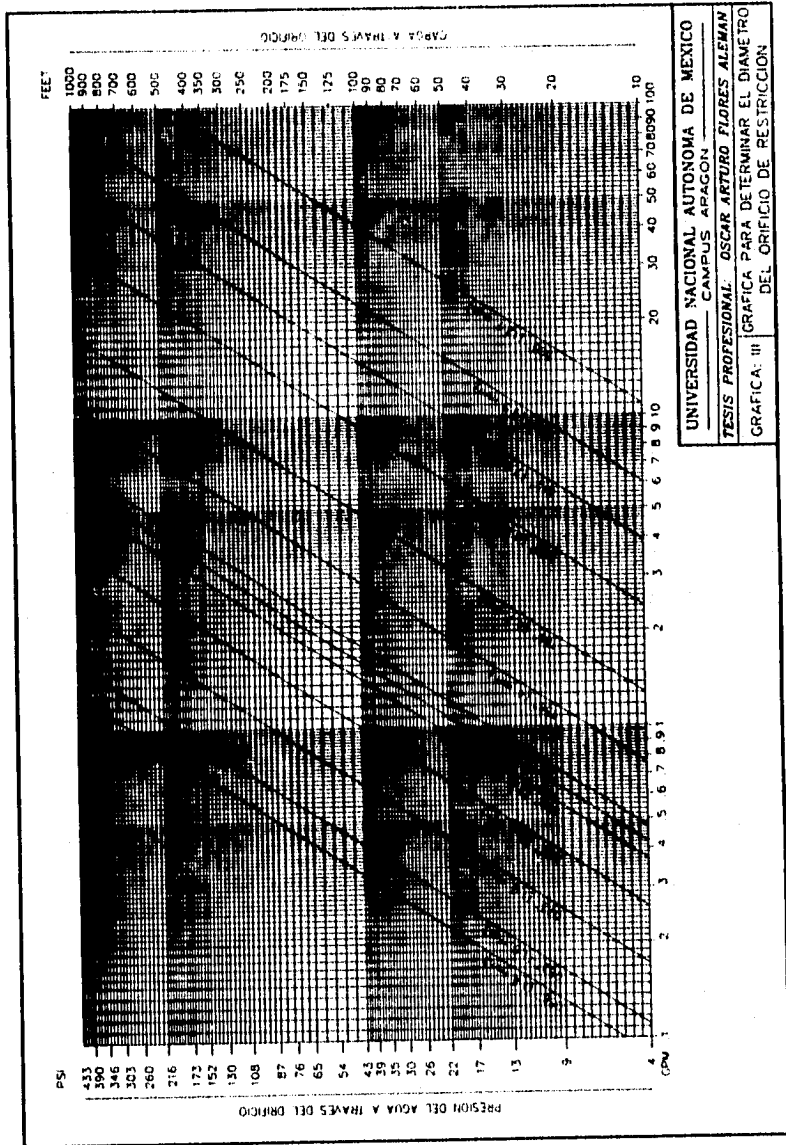
**TABLA C.- GASTO OPTIMO REQUERIDO.**

TAMAÑO DEL SELLO	PULG.	MIN	1/2	1 7/8	2 3/8	3 3/8	4	5 1/2	7 1/2	9 1/2	11
		MAX	1 3/4	2 1/4	3 1/4	3 3/4	5 1/4	7 1/4	9 1/4	10 1/4	12
	MM.	MIN	13	48	60	85	96	134	185	236	274
		MAX	47	59	84	95	133	184	235	273	305
CIRCULACION PROMEDIO REQUERIDA	GALONES POR MINUTO		3/4	1	1 1/2	2	3	4	5	7	9
	LITROS POR MINUTO		3	4	6	8	11	15	19	26	34

Ya encontrados, éstos valores, se entra en la gráfica III, a través de la carga dinámica, mostrada en forma vertical, del lado derecho. Localizado el punto en referencia, trazar una línea horizontal hasta hacer coincidir con la recta del gasto óptimo requerido. La diagonal más cercana a la intersección, indica el diámetro del orificio estándar. Como sugerencia, elegir preferentemente el inmediato superior.



SELLOS MECANICOS



## SELLOS MECANICOS



En caso de ser superior la carga al tope que aparece en la gráfica I, hay que dividir la carga, por el número de orificios que van a ser empleados. Estos son instalados en serie con una separación mínima de 15 cm. El último o único orificio de restricción, debe encontrarse por lo menos a 30 cm., antes de llegar a la brida del sello, para conservar un flujo laminar.

### III.13.2. CAMBIADOR DE CALOR:

Es un accesorio diseñado para controlar la temperatura del líquido lubricante de inyección al sello.

El cambiador de calor está compuesto de un serpentín de doble espira, encerrado en una carcasa, por la que circula agua, la cual enfría al líquido lubricante que fluye por el serpentín. Ver figura 3.16.

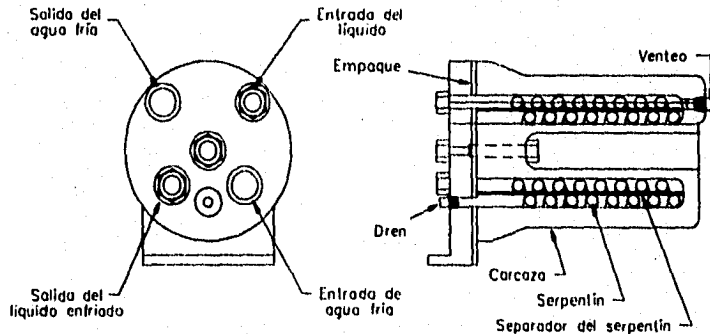


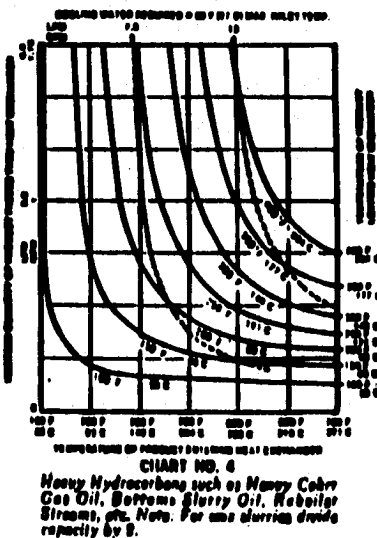
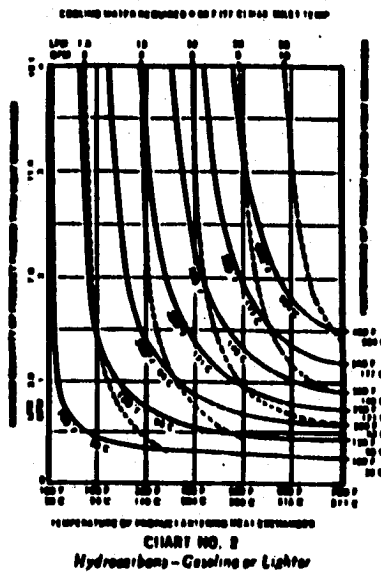
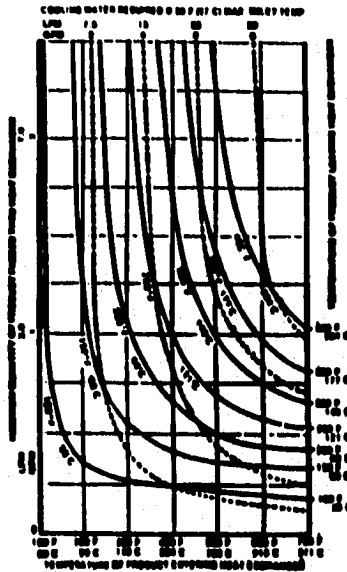
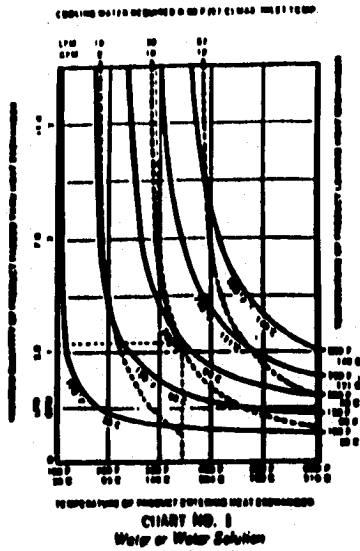
figura 3.16.- Cambiador de calor.

### SELECCION DEL SERPENTIN:

Para encontrar el serpentín adecuado del cambiador de calor, existen diagramas para los diferentes tipos de líquidos y con diámetros estándares de 1/2", 5/8" y 3/4".



HEAT EXCHANGER<sup>3</sup> 1/2"



<sup>3</sup> Cortesia de Borg-Warner.



HEAT EXCHANGER<sup>6</sup> 5/8"

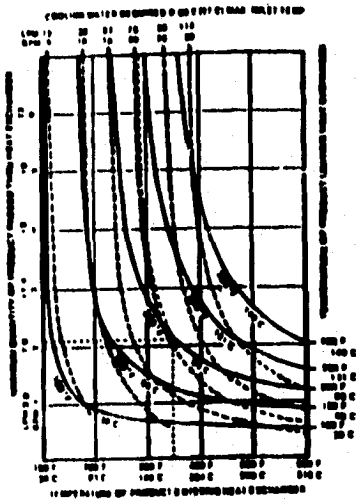


CHART NO. 1

Water or Water Solution

DESIGNED FOR THE HEAT EXCHANGER 5/8" IN DIA. HEAT TRANSFER



CHART NO. 2

Crude Oil, Lub Oil, Kerosene, Quench Oil, Transformer Oil, Lean Oil, Rich Oil, Light Fuel Oil, Heat Transfer Liquids such as Dowtherm, Molasses, etc.

DESIGNED FOR THE HEAT EXCHANGER 5/8" IN DIA. HEAT TRANSFER

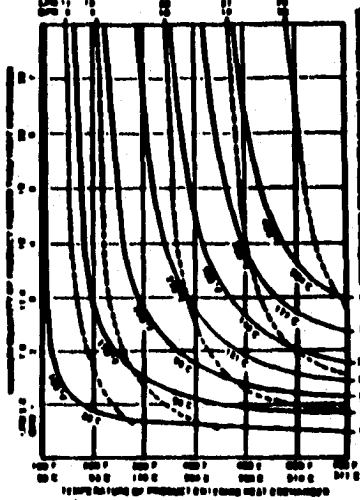


CHART NO. 3

Hydrocarbons - Gasoline or Lighter

DESIGNED FOR THE HEAT EXCHANGER 5/8" IN DIA. HEAT TRANSFER

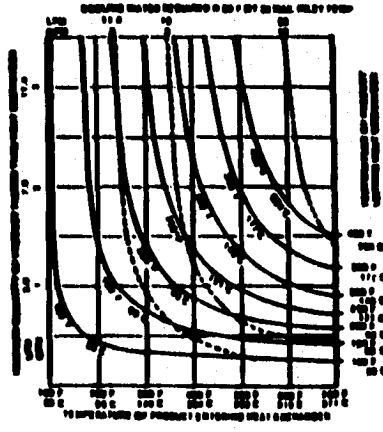


CHART NO. 4

Heavy Hydrocarbons such as Heavy Cohar Gas Oil, Bottoms Slurry Oil, Molasses, etc. Note: For use slurry divide capacity by 2.

<sup>6</sup>Cortesia de Borg-Warner.



HEAT EXCHANGER 7 3/4"

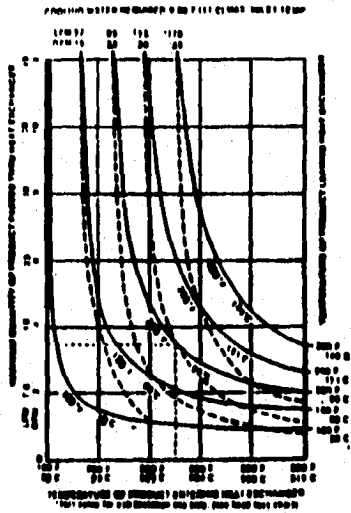


CHART NO. 1  
Water or Water Solution

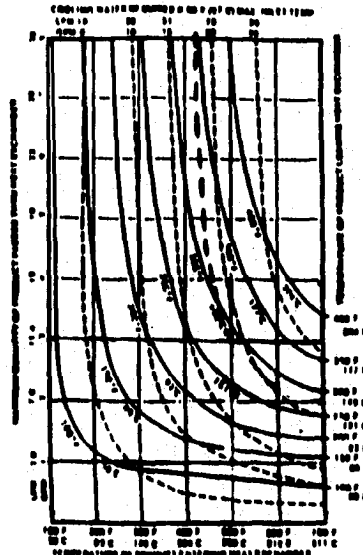


CHART NO. 3  
Crude Oil, Lubo Oil, Waxene, Quench Oil,  
Transformer Oil, Lean Oil, Rich Oil, Light  
Fuel Oil, Heat Transfer Liquids such as  
Dowtherm, Molibtherm, etc.

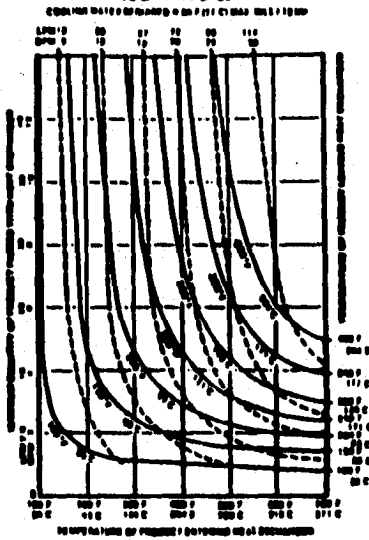


CHART NO. 2  
Hydrocarbons - Gasoline or Lighter

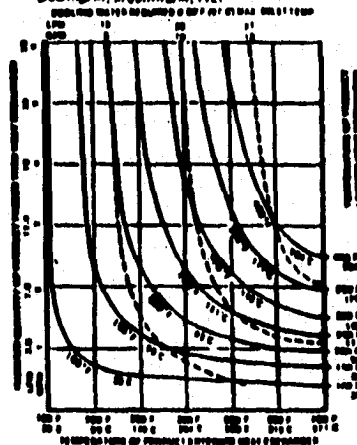


CHART NO. 4  
Heavy Hydrocarbons such as Heavy Color  
Gas Oil, Bottoms Slurry Oil, Refiner  
Streams, etc. Note: For max storage divide  
capacity by 2.

Cortesia de Borg-Warner.

## SELLOS MECANICOS



Primeramente ubicar con respecto al líquido a enfriar, cual número de diagrama es el adecuado y con la temperatura del líquido y gasto requerido de inyección al sello, analizar para los diferentes diámetros de serpentín. Escogiendo aquel, cuyo punto de intersección de dichas condiciones, esté contemplado dentro de las curvas de temperatura a la salida del cambiador de calor.

Debido a su forma, tamaño y peso, es de fácil instalación en espacios reducidos del paquete bomba-motor y requiere estar a una distancia de 18 a 24 pulgs., del eje del equipo.

### III.13.3. SEPARADOR CICLONICO:

Es un aditamento empleado para separar sólidos del fluido que va a ser inyectado al sello, mediante fuerza centrífuga y una diferencial de presión, los sólidos son enviados por un dren a un punto de baja presión y por la parte superior del ciclón es entregado fluido limpio. Ver figura 3.17.

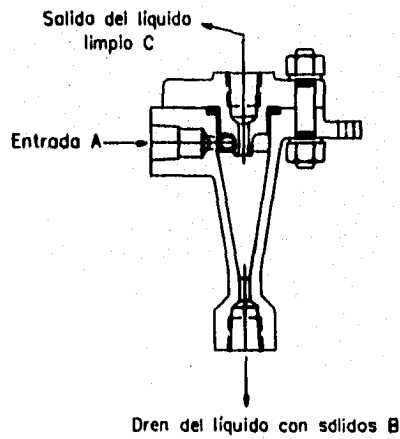
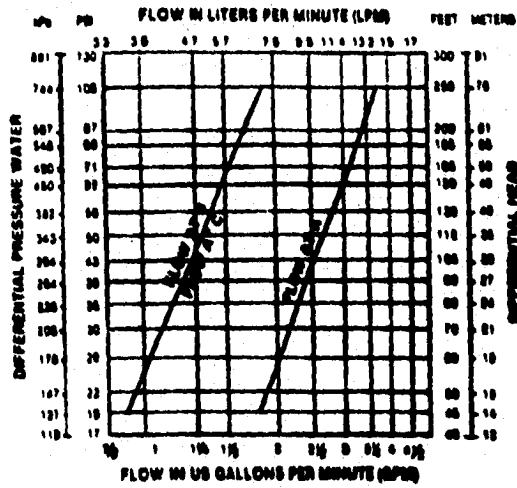


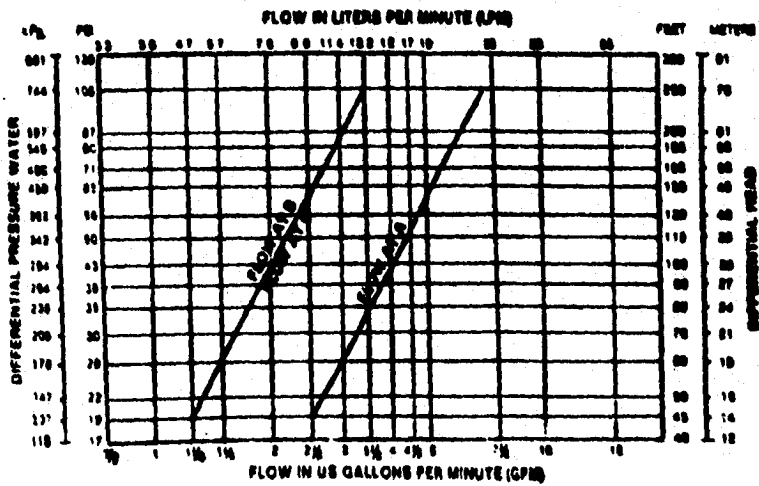
figura 3.17.- Separador ciclónico.



DIAGRAMAS DE FLUJO NOMINAL<sup>1</sup>



GRAFICA IV



GRAFICA V

<sup>1</sup>Cortesía de Borg-Warner.

## SELLOS MECANICOS



El separador ciclónico puede remover arena, incrustaciones en tubos, y otras partículas abrasivas. Se manejan 2 tamaños estándares de separadores ciclónicos, representados en las gráficas IV y V.

Para determinar las condiciones a las cuales debe operar, hay que considerar lo siguiente: El gasto requerido de inyección al sello, debe ser el gasto de salida del líquido limpio (C). Por lo que el gasto de entrada al separador ciclónico (A), debe ser mayor a éste, debido a que parte del líquido es drenado con los sólidos, además de perder presión al pasar por el accesorio.

El punto de partida es ubicar en la parte inferior de la gráfica, el flujo requerido, del cual, se proyecta una línea vertical hasta hacerse intersectar con la línea de salida del líquido limpio (C). De éste punto, al trazar una línea horizontal hacia la izquierda, se obtiene la presión diferencial requerida y al prolongar hacia la derecha, hasta hacerse coincidir con la línea del flujo a la entrada (A) y posteriormente bajar verticalmente, se encuentra el gasto de entrada necesario.





## **IV. SELECCION DEL SELLO MECANICO.**

La selección del sello debe satisfacer, una serie de condiciones como: Facilidad de instalación, durabilidad, confiabilidad, economía, servicio y existencia de refacciones. Todo basado, tanto en las características del fluido manejado y equipo a sellar, así como, el control ambiental del área de operación y diseños propios de cada fabricante.

Los factores antes mencionados deben ser tomados en cuenta de manera conjunta. A continuación se desarrolla un sistema de selección, involucrando a cada uno de ellos.

### **IV.1. CARACTERISTICAS DEL FLUIDO A SELLAR.**

Es importante conocer la información completa del fluido a manejar, sin descuidar aquellos pequeños porcentajes que forman o pueden formar parte del fluido. Su conocimiento pleno, da la pauta de selección, no sólo de los materiales que conforman el sello, sino también las características de diseño, y los requerimientos del sistema auxiliar que garanticen un sellado efectivo, confiable y duradero.

Preferentemente deben conocerse todos los siguientes datos:

1. Nombre del fluido a manejar y/o fórmula química. Aquí es necesario indicar la concentración en peso o en volumen de los componentes del fluido, cuando se trata de soluciones o mezclas.
2. Saber si el fluido es limpio, es decir, que no tiene sólidos en suspensión.
3. En caso de ser sucio o abrasivo el fluido, describir:
  - 3.1. Por ciento de sólidos.
  - 3.2. Tamaño de los sólidos.
  - 3.3. Gravedad específica de los sólidos.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



4. Verificar si el fluido es considerado lodoso.
5. Si el fluido es peligroso, tener en cuenta las siguientes posibilidades:
  - 5.1. Tóxico.
  - 5.2. Inflamable.
  - 5.3. Explosivo.
  - 5.4. Corrosivo.
  - 5.5. Dañino.
6. Gravedad específica del fluido a las condiciones de bombeo.
7. Temperatura de operación.
8. Viscosidad del fluido a las condiciones de bombeo.
9. Punto de ebullición del fluido a la presión en la cámara del sello.
10. Punto de congelación del fluido.
11. Presión del fluido en la cámara del sello.
12. Presión de vapor del fluido a temperatura de bombeo.

## IV.2. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.

Los datos mínimos de la bomba para la selección apropiada del sello, son los siguientes:

1. Fabricante del equipo de bombeo.
  - 1.1. Modelo.
  - 1.3. Tamaño y tipo.
  - 1.4. Número de serie.
2. Montaje de la carcasa.
  - 2.1. Línea de centros (bomba API horizontal).
  - 2.2. Pie (bomba ANSI).

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



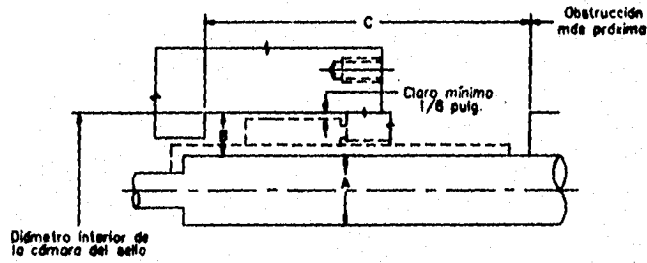
- 2.3. Vertical.
3. Corte de la bomba.
  - 3.1. Axial.
  - 3.2. Radial.
4. Número de pasos.
5. Tipo de impulsor.
6. Clase de materiales API-610.
7. Diámetro de la flecha y/o camisa.
8. Presión de succión y descarga.
9. Presión de la caja del estopero.
10. CNPS.
  - 10.1 CNPS requerida por la bomba.
  - 10.2 CNPS del sistema (disponible).
11. Velocidad de la flecha y sentido de giro.
12. Movimiento axial máximo, principalmente en bombas verticales y de barril.
13. Verificar si contempla chaquetas de enfriamiento.
14. Velocidad tangencial:
15. Dimensiones del estopero.

La cámara del sello para bombas horizontales con impulsor en cantiliver de un sólo paso, bombas verticales en línea de un sólo paso y bombas de alta velocidad con caja de engranes integral, deberán cumplir con las dimensiones mínimas mostradas en las tablas 4A, 4B y 4C. Con éstas dimensiones, el claro mínimo radial, entre el elemento rotatorio del sello y el borde interior de la cámara del sello deberá ser 1/8 pulg., (3mm). Los incrementos del diámetro interior de la cámara del sello serán de 1/8 pulg., ó 5 mm, en caso de diseños métricos.

SELECCION DEL SELLO MECANICO.

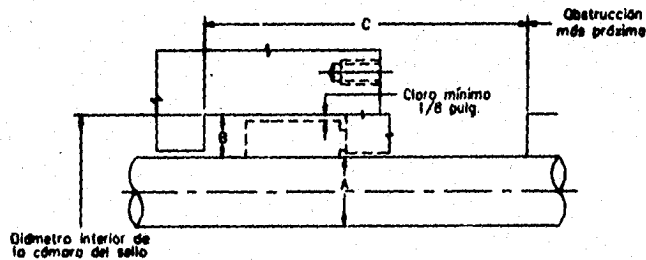


**Tabla 4A.-Dimensiones mínimas para cámaras de sello en bombas cantiliver, suministradas con camisa.**



Diámetro de flecha. A (pulg)	Dimensión mínima radial. B (pulg).	Longitud mínima total. C (pulg).
≤2.000	1.000	5.750
2.125-3.000	1.125	6.500
>3.000	1.250	7.000

**Tabla 4B.-Dimensiones mínimas de cámaras de sello para bombas horizontales en cantiliver, suministradas sin camisa.**

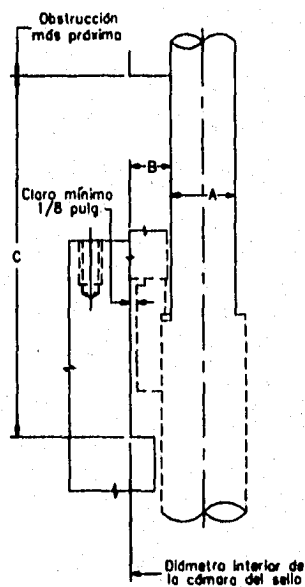


Diámetro de flecha, A (pulg)	Dimensión mínima radial, B (pulg).	Longitud mínima total, C (pulg).
≤2.250	0.875	5.750
>2.250-3.250	1.000	6.500
>3.250	1.125	7.000

SELECCION DEL SELLO MECANICO.



Tabla 4C.-Dimensiones para cámaras de sello de bombas verticales en línea, suministradas sin camisa.

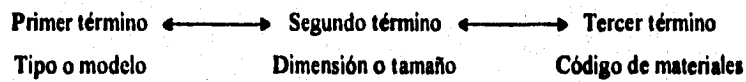


Diámetro de flecha, A (pulg)	Dimensión mínima radial, B (pulg).	Longitud mínima total, C (pulg).
≤2.250	0.875	5.750
>2.250-3.250	1.000	6.500
>3.250	1.125	7.000

IV.3. NOMENCLATURA DE IDENTIFICACION DE SELLOS MECANICOS.

Existen varios fabricantes de sellos mecánicos. Cada uno de ellos emplea una nomenclatura particular de identificación de su equipo, pero la mayoría seccionan la denominación en tres términos, los cuales consisten en:

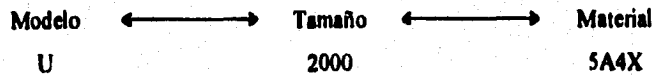
## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



- a) El primer término indica los caracteres identificadores del modelo.
- b) El segundo, marca el tamaño del sello. Este valor tiene relación con el diámetro del elemento rotatorio en la zona de la cámara del sello.
- c) El último término, es una serie de caracteres que determinan la clasificación de los materiales de construcción del sello.

A continuación se presenta la nomenclatura para seleccionar el sello de tres fabricantes.

### IV.3.1 IDENTIFICACION DEL SELLO MECANICO MARCA BORG-WARNER.



- a) El modelo se selecciona de acuerdo al servicio y condiciones de presión.
- b) El tamaño corresponde al diámetro de la camisa o flecha (de no contar con manga).
- c) El material de construcción está compuesto de cuatro caracteres y se especifican de acuerdo con la tabla "D".

Los modelos más comunes son:

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



### Tipo Q/QB

Sello de resortes múltiples, de tamaño compacto para servicios generales. El tipo Q es no balanceado y el QB balanceado.

#### Presiones:

Q : 150 psi.

QB : 750 psi.

#### Temperaturas del producto:

Agua o soluciones acuosas: 32°F → 275°F.

Otros líquidos: -40°F → 400°F.

#### Gravedad específica mínima:

Q: 0.6.

QB: 0.45.

Velocidad periférica: 75 pies/seg.

Diámetro de eje: 11/16 pulg. hasta 5 pulg.

### Tipo U.

Sello sencillo balanceado, de resorte único con sistema de circulación integrado.

Presiones: Hasta 1000 psi.

#### Temperaturas del producto:

Agua o soluciones acuosas: 32°F → 176°F.

Otros líquidos: -100°F → 450°F.

Gravedad específica mínima: 0.45.

Velocidad periférica: 75 pies/seg.

Diámetro de eje: 13/16 pulg. hasta 5-15/16 pulg.

### Tipo D.

Sello sencillo balanceado, de resorte único para aplicaciones en servicios pesados y generales.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



**Presiones:** Hasta 1000 psi.

**Temperaturas del producto:**

Agua o soluciones acuosas: 32°F → 625°F.

Otros líquidos: -40°F → 400°F.

**Gravedad específica mínima:** 0.45.

**Velocidad periférica:** 75 pies/seg.

**Diámetro de eje:** 13/16 pulg. hasta 5 9/16 pulg.

### Tipo UHT/DHT.

Sello tipo cartucho para aplicaciones de alta presión.

**Presiones:** Hasta 2000 psi.

**Temperaturas del producto:**

Agua o soluciones acuosas: 32°F → 176°F.

Otros líquidos: -40°F → 400°F.

**Gravedad específica mínima:** 0.45.

**Velocidad periférica:** 250 pies/seg.

**Diámetro de eje:** 2-1/8 pulg. hasta 10-3/4 pulg.

El sello tipo DHT, también es capaz de soportar altas velocidades. Tiene sistema de circulación integrado y el rango de temperatura para soluciones acuosas es de 32°F → 625°F.

### Tipo GS/GW.

Sello de funcionamiento en seco para aplicaciones de gas.

**Presiones:**

**GS:** Gas Hasta 40 psi.

Líquido: hasta 1000 psi.

**GW:** Gas hasta 1000 psi.

Líquido: hasta 1000 psi, dependiendo el tamaño.



## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



Temperatura del gas:  $-40^{\circ}\text{F} \rightarrow 400^{\circ}\text{F}$ .

Densidad: 0.07  $\rightarrow$  1.55.

Velocidad periférica:

GS: 75 pies/seg

GW: 250 pies/seg.

Diámetro de eje:

GS: 11/16  $\rightarrow$  5-15/16 pulg.

GW: 1-1/4  $\rightarrow$  4 pulg.

### Tipo BX.

Sello balanceado de fuelle metálico soldado y tamaño compacto.

Presiones:

Hasta 400 psi.

1000 psi con diseño especial.

75 psi con montaje exterior.

Temperaturas del producto:

Agua o soluciones acuosas:  $32^{\circ}\text{F} \rightarrow 275^{\circ}\text{F}$ .

Otros líquidos:  $-40^{\circ}\text{F} \rightarrow 400^{\circ}\text{F}$ .

Gravedad específica mínima: 0.45.

Velocidad periférica: 75 pies/seg.

Diámetro de eje: 7/8 pulg. hasta 12 pulg.

### Tipo BXR/BXRH.

Sello balanceado de fuelle metálico estacionario.

Presiones:

BXR: Hasta 400 psi.

BXRH: Hasta 300 psi.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



### Temperaturas del producto:

**BXR:** Agua/soluciones acuosas: 32°F → 275°F.

Otros líquidos: -40°F → 536°F.

**BXRH:** Soluciones acuosas: 32°F → 275°F.

Otros líquidos: 0°F → 750°F.

Gravedad específica mínima: 0.45.

### Velocidad periférica:

**BXR:** 250 pies/seg.

**BXRH:** 150 pies/seg.

Diámetro de eje: 1 hasta 4 pulg.

El tipo BXRH aplica para temperaturas extremas y alta velocidad.

### Tipo BRC.

Sello balanceado de fuelle rotativo para aplicaciones con temperaturas extremas.

Presiones: Hasta 300 psi.

### Temperaturas del producto:

Soluciones acuosas: 32°F → 150°F.

Otros líquidos: 0°F → 750°F.

Diseño especial tipo BL para temperaturas criogénicas.

Velocidad periférica: 75 pies/seg.

Diámetro de eje: 1-3/16 pulg. hasta 4-5/8 pulg.

### Tipo RIS.

Sello para lodos.

Presiones: Hasta 150 psi.

Temperaturas del producto: Agua/lodos en base acuosa: 32°F → 250°F.

Velocidad periférica: 75 pies/seg.

Diámetro de eje: 1-5/8 pulg. hasta 9-1/4 pulg.



TABLA "D".- MATERIALES DE CONSTRUCCION DE BORG-WARNER.

1er Símbolo Partes metálicas		2º Símbolo Cara rotativa		3er Símbolo Juntas		4º Símbolo Cara estacionaria	
Sim	Material	Sim	Material	Sim.	Material	Sim	Material
1	Acero Parkerizado	A	Carbón*	1	Nitrilo	A	Carbón*
2	Bronce	C	Cerámica	2	Neopreno	B	
3	416	F	M-4	4	Vitón	C	Cerámica
4	18-8	G	Ni-Resist	5	Etileno Propileno	D	
5	316	H	316/Stellite	6	Compuesto de vitón	F	M-4
6	Alloy 20	J	316/Zafiro	7	Teflón	G	Ni-Resist
7	Monel	K	Stoody	8	TFE fibra de vidrio	H	Carbón
8	Hastelloy B	L	Alloy 20/Stellite	C	Grafoil	J	316/Zafiro
9	Hastelloy C	M	Colmonoy	D	Kalrez	K	Stoody
A	316/Inst. C/Alloy 42	N	C. de Tung-Niquel	E	Bortex-1/E.P.	L	TFE fibra de vidrio
		O	Carburo de Titanio	F	Bortex-2/Nitrilo	M	C. de Tung-Cobalto
		P	Carbón			N	C. de Tung-Niquel
		R	431 ó 440 C			O	Carburo de Titanio
		S	316/LC 4			Q	Carbón
		T	316/Tungsteno			S	316/Stellite
		U	Carbón**			T	316/Tungsteno
		W	C. de Tung-Cobalto			U	Carbón**
		X	Carb. de Silicio-R.B.			X	C. de Silicio-R.B.
		Z	Carb. de Silicio-S.S.			Z	C. de Silicio-S.S.

\* Impregnado con Resina

\*\* Impregnado con Antimonio.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



La tabla anterior sirve para identificar los materiales estándares del fabricante, pero para determinar el material adecuado en el manejo de X producto, es necesario consultar las publicaciones N.A.C.E. (National Association of Corrosion Engineers), o en casos no críticos, puede emplearse un manual de materiales recomendados por cualquier fabricante de sellos.

Ejemplo: 5 A 4 X

5 = Partes metálicas.- 316.

A = Cara rotativa.- Carbón (resina).

4 = Juntas.- Vitón.

X = Cara estacionaria.- Carburo de silicio (reac. B).

### IV.3.2. IDENTIFICACION DEL SELLO MECANICO MARCA DURAMETALLIC.

Modelo	←————→	Tamaño	←————→	Material
PTO		2 ¼		EP5EFTT

- El modelo se selecciona de acuerdo al servicio, condiciones de presión y velocidad tangencial.
- Igualmente, el segundo término corresponde al diámetro del elemento rotativo.
- La nomenclatura de materiales está compuesta de 7 caracteres, los cuales, son identificados en la tabla "E".

Los modelos de sellos mecánicos marca Durametallik, más comunes para la industria petroquímica, junto con sus características generales, son los siguientes:

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



### **Tipo RO/RO-TT.**

Sellos del tipo balanceado, son apropiados para condiciones de bombeo con presiones, temperaturas y velocidades promedio. Pueden ser instalados en ejes, dentro o fuera de la caja de estoperos.

Presión máxima: 300 psig.

Velocidad máxima: 4,500 fpm.

Si el sello es externo, el diseño es limitado a 15 psig.

El sello básico RO es suplido con elastómero "O" rings y el sello RO-TT, emplea anillos en "V" Durafón.

### **Tipo ARO/ARO-TT.**

La serie ARO, es ajustada con un sólo resorte. La construcción, rango de aplicación y material disponible son los mismos que la serie RO.

### **Tipo BRO/BRT.**

El sello de la serie "B". Es un sello desbalanceado. Está diseñado para permitir un movimiento máximo radial y/o axial, especialmente para aplicaciones donde la deflexión de la flecha es un problema. Es adaptable particularmente en equipos de trabajo pesado con ejes de gran tamaño. Hay muchos tipos de materiales disponibles para el manejo de las aplicaciones más difíciles.

Presión máxima: 400 psig.

Velocidad máxima: 3500 fpm.

### **Tipo CRO.**

Sello desbalanceado que tiene gran aceptación en aplicaciones con agua u otros líquidos similares no lubricantes bajo presión moderada. Está diseñado para sellar líquidos que poseen sustancias arenosas abrasivas.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



Tiene un sólo resorte y únicamente es disponible con elastómeros "O" rings para sellado secundario.

Presión máxima: 300 psig.

Velocidad máxima: 4500 fpm.

### Tipo PT/PTO.

Sellos balanceados diseñados para condiciones de alta presión y temperatura, como ocurre con el manejo de hidrocarburos ligeros. Un conjunto de sello ideal para la refinación de petróleo y servicios de oleoducto. Similar, respecto a todo lo fundamental del tipo RO/RO-TT, con la misma versatilidad.

Presión máxima: 600 psig.

Velocidad máxima: 4500 fpm.

### Tipo APT/APTO.

La serie APT, está disponible en la misma variedad de metalurgia y materiales que cubren la serie PTO. El diseño incorpora un sólo resorte confinado en una unidad de compresión.

### Tipo BPT/BPO, LPT/LPTO.

Los sellos BPO/BPT, representan la versión balanceada de los sellos BRO/BRT y los tipo LPTO/LPT de los sellos de resorte único CRO.

### Tipo RA/RA-TT/RA-C.

Son sellos balanceados, montados externamente y se utilizan cuando por limitaciones de espacio en la caja del estopero, determina el uso de un sello externo y las presiones exceden aquellas manejadas por sellos no balanceados. Además su aplicación queda limitada al manejo de líquidos libres de sólidos.

Presión máxima: 400 psig.

Velocidad máxima: 4500 fpm.

SELECCION DEL SELLO MECANICO.



**Tipo PRO/POS.**

Son diseñados con un escalón de balance, incorporado dentro del collar, por lo que elimina la necesidad de un diámetro de balance en la flecha o camisa. Son balanceados para ambos servicios, internos o externos. Como sello interno soporta presiones de hasta 350 psig y como externo, hasta 150 psi. Su sellado secundario está limitado a elastómeros "O" rings.

Velocidad máxima: 4500 fpm.

**Tipo VRA.**

Es un sello sencillo externo, balanceado, diseñado específicamente para ejes de agitadores. Es del tipo seco y posee una construcción para trabajos pesados.

Presión máxima: 200 psi.

Velocidad máxima: 300 fpm.

**Tipo SL.**

Es un sello interno balanceado para aplicaciones difíciles con abrasivos en fluidos fibrosos y no fibrosos, sólidos no disueltos y fluidos termosensitivos, tales como asfalto.

Presión máxima: 250 psi.

Velocidad máxima: 2800 fpm.

**TABLA "E".- MATERIALES DE CONSTRUCCION DE DURAMETALLIC**

Sim	U. rotativa 1er dígito	Cara rotatoria 2° dígito	C. estacionaria 3er dígito	Brida del sello 4° dígito	Caract. brida 5° dígito	E. flecha (6°) sellado sec. (7)
A	Duplex SS	Carb.Tungs. A	Carb.Tungs. A	Duplex SS	Ventco y Drene	
B	XM-19 Inox.	Carb.Tungs. M1	Carb.Tungs. M1			Butyl
C	304 Inox.			304 Inox.	Con enfriador	Duraflón/Vitón
D	17-4 PH	Duramate	Duramate	17-4 PH Inox.	Calent. c/vapor	Silicón
E	316 Ac. Inox.			316 Ac. Inox.		EPR
F		Duraflón	Duraflón		Lubricación	Duraflón V

SELECCION DEL SELLO MECANICO



Cont...tabla E.

Sim	U. rotativa 1er dígito	Cara rotatoria 2° dígito	C. estacionaria 3er dígito	Brida del sello 4° dígito	Caract. brida 5° dígito	E. flecha (6°) sellado sec. (7)
<b>G</b>		<b>Carb. Silicio A</b>	Carb. Silicio A			<b>Duraflite</b>
<b>H</b>	Hastelloy B	Hastelloy B	Hastelloy B	Hastelloy B		D. Cub. c/Vitón
<b>I</b>	Hastelloy C	Hastelloy C	Hastelloy C	Hastelloy C		
<b>J</b>	Inconel	Carb. Silicio M	Carb. Silicio M			
<b>K</b>	#20 Inox.			#20 Inox.		
<b>L</b>		Carb. Silicio 3	Carb. Silicio 3		Ext. Lubricado	
<b>M</b>	Monel	Carb. Tungs. M	Carb. Tungs. M	Monel		
<b>N</b>	Acero			Acero		Neopreno
<b>O</b>		Bronce	Bronce	Bronce		Buna N
<b>P</b>		Rec. Durcromo	Rec. Durcromo	Hierro fundido	Plana	Kalrez
<b>Q</b>				410 Inox.	Lavado c/vapor	
<b>R</b>		#5 Carbón				
<b>S</b>	Titanio	Recub. Stellite	Recub. Stellite	Titanio	Calent. c/vapor	
<b>T</b>						<b>Dura/Duraflite</b>
<b>U</b>		C. Tungs. 62-6	C. Tungs. 62-6			<b>EPT</b>
<b>V</b>					c/buje, vent. y D	
<b>W</b>					Circ. Lubric.	
<b>Y</b>		Kalamate	Kalamate			
<b>Z</b>	Nickel	Carb. Silicio A2	Carb. Silicio A2			
<b>2/4</b>		C. Sil. 2/C.sil. 1	C. Sil. 2/C.sil. 1			
<b>3/6</b>			#5/#6 (Carbón)			<b>Duraflón/Dura- flón.</b>
<b>7</b>		Peramic	Peramic			
<b>8</b>		C. Tungs. 62-1	C. Tungs. 62-1			



## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



Ejemplo: **E G 5 E F T T**

**E = Unidad rotativa.** - 316 Acero inoxidable.

**G = Cara rotativa.** - Carburo de silicio A.

**5 = Asiento o cara estacionaria.** - Carbón #5.

**E = Brida del sello.** - Acero inoxidable.

**F = Características de la brida.** - Lubricación.

**T = Elastómero de la flecha.** - Durafón.

### IV.3.3. IDENTIFICACION DEL SELLO MECANICO MARCA JOHN CRANE.

Modelo	←————→	Tamaño	←————→	Material
8B1		2 ¼		X <sub>3</sub> F <sub>11</sub> 1-1

- Nuevamente con respecto al modelo, éste se selecciona de acuerdo al servicio y condiciones de presión, velocidad y temperatura.
- El segundo término corresponde al diámetro del elemento rotativo.
- El código de materiales de John Crane, está compuesto de cinco símbolos, los cuales, se definen en la tabla "F".

#### IV.3.3.1. CLASIFICACION DE LOS SELLOS MECANICOS DE JOHN CRANE.

John Crane agrupa dentro de cinco familias, los diferentes tipos de sellos. Tres son identificados por el tipo de material usado en el miembro de sellado secundario: Elastómeros, PTFE y fuelle metálico. Una cuarta familia pertenece a sellos de gas para operación en seco, mientras una quinta contiene sellos especiales.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



De las familias de elastómeros y PTFE, existe una subcategoría adicional, la cual, refleja el diseño del sello en dos tipos: De empuje y no empuje.

Para tipos de empuje, el sello secundario es un "O" ring o una cuña, que continúan a lo largo de la flecha o camisa, para compensar el desgaste de la cara.

En contraste, el sello sin empuje, utiliza fuelles o diafragmas. La sección final del fuelle, es fuertemente ajustada a la flecha, formando una junta estática. El desgaste es compensado por las convoluciones del fuelle, las cuales no tienen contacto con el diámetro exterior de la flecha.

La sección de sellos de empuje y no empuje, tiene fundamento en las condiciones ambientales, tanto mecánicas como térmicas, y el servicio específico.

Los modelos siguientes corresponden a sellos desbalanceados, los cuales tienen características y aplicaciones similares a los sellos balanceados, excepto en las presiones que soportan, siendo inferiores a éstos, de un 50 hasta inclusive más del 75%. Para identificar un sello balanceado de un desbalanceado, el modelo debe tener incluido una letra B, ejemplo:

Sello desbalanceado (8-1), presión máxima: 350 psi.

Sello balanceado (8B1), presión máxima: 1200 psi.

### IV.3.3.2. FAMILIAS DE SELLOS DE JOHN CRANE.

#### IV.3.3.2.1. SELLOS DE ELASTOMERO.

- a) Sellos de no empuje: A éste grupo pertenecen los sellos de fuelle elastomérico tipo 1 y 2, para servicio general. Otras series de sellos de

#### SELECCION DEL SELLO MECANICO.



fuelle elastomérico, incluye el tipo 1100 y 1502, con montaje en cartucho, y el tipo 21 para propósitos de sellado general.

- b) **Sellos de empuje:** Con elastómeros "O" ring, incluye el amplio rango de la serie 8 y 88. Nuevas adiciones a ésta familia, son los sellos Ropac "O" ring.

#### IV.3.3.2.2. SELLOS DE PTFE.

- a) **Sellos de no empuje:** Diseñados para servicios muy severos. Son de fuella único de PTFE identificados con las series 10 y 20.
- b) **Sellos de empuje:** También aplicables a servicios severos, identificados con la serie 9. Emplea una cuña de PTFE para el sellado secundario.

#### IV.3.3.2.3. SELLOS DE FUELLE METALICO.

- a) **Sellos de no empuje:** Son contruidos de fuella metálico flexible, para prevenir colgarse debido a depósitos de sólidos en la flecha. Su número de serie correspondiente es el 15.
- b) **Sellos de empuje:** Esta serie incluye el diseño óptimo de sellos de fuella con corte en cuña. Formado asimétricamente para presiones moderadas en servicios generales. Su número de serie es la 515.

**IV.3.3.2.4. SELLO SECO DE GAS.** Los sellos de gas de operación en seco identificados con la serie 28, aplican en todo tipo de compresores, turbinas y equipo similar. La característica de ellos, es que sus caras de sellamiento, no tienen contacto durante la operación dinámica, eliminando la necesidad de utilizar sistemas de lubricación costosos. La cara de desgaste tradicional del sello es eliminada.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



**IV.3.3.2.5. SELLOS ESPECIALES.** Sellos de ésta familia pertenecen la serie 37FS con sellos completamente partidos, los tipo 8000, de bombeo a contracorriente y los 32, de operación en seco.

### **SERIE 1 y 2.**

Aplica para todos los tipos de equipo rotatorio, bombas, servicios marinos, mezcladoras, agitadores y compresores. Son confinados para requerimientos de espacio limitado en la profundidad de la brida. Se autoalinean compensando el juego excesivo del extremo de la flecha y el claro. El resorte que ajusta al fuelle elastomérico, no sufre de atascamientos, realzando su confiabilidad. Reparable en campo.

Presiones: Hasta 1200 psi.

Velocidad: Hasta 5000 fpm.

Temperaturas: -40°F a 400°F.

### **SERIE 21.**

Maneja todos los fluidos sin sufrir daños en su empaque de hule. Aplica en bombas tipo turbina, agitadores, reductores de velocidad y equipo rotatorio similar. Compuesto de un fuelle elastomérico y resorte único, con partes metálicas de acero inoxidable 18-8.

Presiones: 150 psi.

Velocidad: Hasta 2500 fpm dependiendo de la configuración y tamaño de la flecha.

Temperaturas: -40°F a 400°F.

### **SERIE 8.**

Estos robustos sellos mecánicos están disponibles en una variedad de elastómeros para manejar prácticamente cualquier fluido industrial, tales como: químicos, hidrocarburos ligeros y gases corrosivos con alta presión y alta temperatura. Los componentes están unidos por un aro formando un sólo conjunto. Diseño con anillo "O" ring y propulsión mecánica, es decir, reduce el deslizamiento sobre el eje, eliminando el desgaste prematuro. Diseño compacto, con

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



preciso lapado de caras y puede ser reparable en campo. Disponible en montaje tipo cartucho.

### Presiones:

8-1, y 8-1T.- 350 psi.

8B1.- 1200 psi.

8BIT.- 500 psi.

Velocidad máxima: Hasta 5000 fpm.

Temperaturas: -40°F a 500°F dependiendo el material usado.

## SERIE 88.

Para usos, donde las limitaciones de espacio en la cámara del sello, es un problema. Recomendados para una gran variedad de servicios de proceso químico, pulpa, papel, servicios marinos, tratamiento de aguas residuales, generación de potencia y otras industrias. De montaje en cartucho. Utilizable en cámaras de sello convencionales sin tener que remover o modificar la camisa de la flecha. Fácil de instalar, mantener, reemplazar y reparar.

Presiones: Hasta 400 psi.

Velocidad: Hasta 7500 fpm dependiendo del subtipo de sello.

Temperaturas: Hasta 500°F.

## SERIES 10 y 20.

Para servicios extremadamente corrosivos y severos, incluyendo variaciones de concentraciones de ácidos, sales y compuestos orgánicos. Inerte químicamente, hecho de PTFE o materiales altamente resistentes a la corrosión en las zonas de contacto con el fluido.

Presiones: Hasta 150 psi.

Velocidad: de 1000 a 2600 fpm, dependiendo del subtipo de sello.

Temperaturas: -50°F a 250°F dependiendo el material usado.



**SERIE 9.**

Aplica en industrias químicas, petroquímicas, farmacéuticas, refinerías, criogénicas y generadoras eléctricas. Excelente en servicios a presiones elevadas y con líquidos altamente corrosivos, sulfúricos, nítricos, fosfóricos o clorhídricos. El sellado secundario es a través de una cuña de PTFE o grafito flexible, que crea un sellado positivo, para aplicaciones químicas a altas temperaturas. Diseño compacto de propulsión mecánica y caras lapeadas a gran precisión. Dimensionalmente intercambiable con sellos de la serie 8. Puede ser reparable en campo y está disponible en montaje tipo cartucho.

Presiones:

9 y 9T.- 350 psi.

9B y 9BT Hasta 750 psi.

Velocidad: Hasta 5000 fpm.

Temperaturas: -350°F a 750°F, dependiendo el material empleado.

**SERIE 515.**

Tiene aplicación en procesos químicos, petroquímicos, alimenticios, pulpa, papel, manejo de pastas viscosas y la industria farmacéutica. El perfil liso abierto del fuelle formado, hace de éste, ideal para pastas viscosas y mezclas fibrosas. El fuelle metálico asimétrico distribuye mayor elasticidad que un fuelle estándar limado. El material del fuelle es una aleación de níquel-cromo.

Presiones: Hasta 290 psi.

Velocidad: Hasta 4000 fpm.

Temperaturas: -40°F a 395°F.

**SERIE 15.**

Para procesos químicos, petroquímicos, refinerías, tuberías, plataformas, servicios marinos, industrias farmacéuticas, plantas criogénicas y enfriadores. Disponible en ensambles tipo cartucho.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



Presiones: Hasta 500 psi. Dependiendo el subtipo de sello.

Velocidad: 10000 fpm.

Temperaturas: -100°F a 800°F.

### SERIE 28.

Su aplicación es en procesos y tuberías de compresores centrífugos, turbinas de vapor y gas, sopladores y ventiladores industriales, plataformas, refinerías y generadores de potencia. El sistema de sellado no requiere de lubricación, debido a que durante la operación dinámica, las caras no hacen contacto, eliminando así, las pérdidas de potencia originadas por el sello y la contaminación del gas de proceso.

Presiones: Hasta 2000 psi.

Velocidad en las caras: Hasta 8000 fpm.

Temperaturas: -150°F a 400°F.

Nota: Más altas temperaturas, presiones y velocidades son posibles.

### SELLOS ESPECIALES.

Son funcionales en servicios de refinerías, tratamiento de aguas residuales, pulpas, papel y otras industrias donde se bombeen químicos, cáustica, abrasivos y pastas.

Presiones: De 400 a 2000 psi dependiendo el tipo.

Velocidad en las caras: Hasta 18000 fpm.

Temperaturas: -150°F a 400°F.

Ejemplo de especificación de materiales de John Crane: X<sub>3</sub>F<sub>31</sub>I-1

X<sub>3</sub> = Elemento de sello secundario.- Kalrez.

F<sub>31</sub> = Anillo primario.- Carbón.

I = Herrajes.- Acero inoxidable 316.

El guión (-) en lugar del cuarto símbolo, indica que el asiento no forma parte del código de materiales de éste conjunto.

SELECCION DEL SELLO MECANICO.



1 = Sistema de carga mecánica. - Acero inoxidable 316.

TABLA "F".- MATERIALES DE CONSTRUCCION DE JOHN CRANE.

Materiales del sello	1º Símbolo	2º Símbolo	3º Símbolo	4º Símbolo	5º Símbolo		
	Elemento de sello secundario	Anillo primario	Herrojes Retenedor, Disco Ara, Prisioneros	Asiento	Sistema de carga mecánica Resortes		
Materiales	Normales	Buna-N	B	Carbón Agua caliente	F10	Acero Inox. 316	1
		Viton	X	Carbón Resistencia a cromatos	F6		
		Etileno Propileno	O3	Carbón Servicio general	F8		
		Neopreno	N				
		Materiales	Xg				
		Silicón	J				
	Opcionales	Etileno Propileno Resistencia a la radiación	O3	Carbón Servicio nuclear	F3	Monel	M
				Carbón Servicio con diamantes	F6	20 CB-3 SS Aleación 20	t
		Buna-N Servicio con alimentos	B33	Grafita Siliconada	F10	Hastelloy B	H
		Viton Servicio con alimentos	X4	C. de Tungsteno	D	Hastelloy C	H
		Etileno Propileno Servicio con alimentos	O3e	Carburo de Silicio Servicio general	Og		
		Neopreno Servicio con alimentos	N20	Carburo de Silicio Servicio químico	O3g		

Consulte en el boletín S-2002-5 los configuraciones y la selección de materiales para asientos

IV.4. RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION DE UN SELLO MECANICO.

Para la instalación de cualquier tipo de sello, es conveniente contar con el dibujo seccional de su ensamble, que incluya lista de materiales.

1. Antes de proceder al ensamble del sello, es necesario preparar el equipo donde va a ir instalado, checando el cumplimiento de los siguientes requisitos:



## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



- a) Verificar la perpendicularidad entre la cámara del sello y la flecha, montando un indicador de carátula, como aparece en la figura 4.1 y haciendo girar al eje. La excentricidad no debe exceder 0.001 pulgadas por pulgada de diámetro medido.

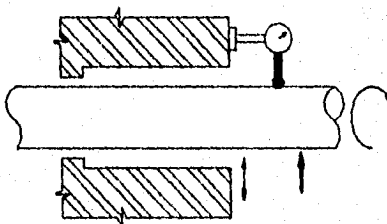


figura 4.1.- Chequeo de la perpendicularidad entre la cámara del sello y la flecha.

- b) Examinar la concentricidad del diámetro interior de la cámara del sello, con un punto de la flecha, como se ilustra en la figura 4.2. La excentricidad total indicada (Runout), no debe ser mayor a 0.005 pulgadas.

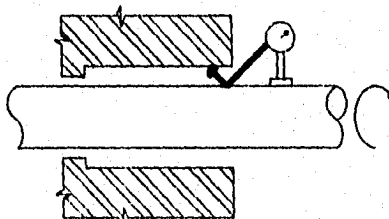


figura 4.2.- Verificación del Runout.

- c) Verificar la concentricidad de la flecha con respecto al paño de la cámara del sello, no debiendo exceder su excentricidad indicada de 0.001 pulgadas. Ver figura 4.3.

SELECCION DEL SELLO MECANICO.



- d) Checar el estado de los rodamientos. Utilizando la sujeción anterior del indicador de carátula, se levanta manualmente la flecha y sin girarla, se checa la tolerancia máxima, la cual no debe ser mayor de 0.002 pulgadas.

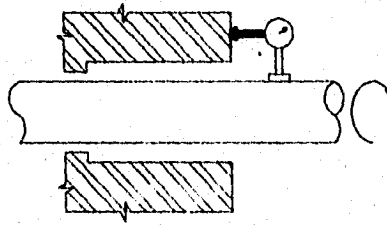


figura 4.3.- Chequeo de la concentricidad de la flecha.

- e) También debe revisarse el movimiento axial de la flecha. 0.002 pulgadas, es una buena indicación, más de 0.005 pulgadas es incorrecto. Ver figura 4.4.

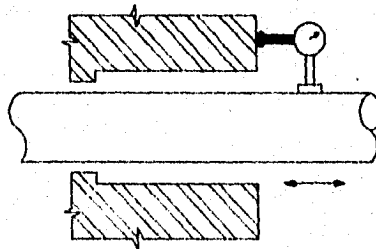


figura 4.4.- Revisión del movimiento axial de la flecha.

2. El ensamble debe ser en un área limpia.
3. Verificar que los materiales del sello corresponden con la lista proporcionada en el dibujo de ensamble.

#### **SELECCION DEL SELLO MECANICO.**



4. **Asegurarse que todas las partes del sello se encuentran limpias, libres de rebabas y filos cortantes.**
5. **Evitar tocar con los dedos, las superficies lapeadas de las caras, si llega a ocurrir, hay que limpiar perfectamente las superficies en cuestión, antes de realizar el ensamble final.**
6. **Ensamblar el sello, acomodando las partes como están indicadas en el corte seccional.**
7. **No aplicar aceite o grasa, para lubricar las caras lapeadas, porque puede atraer y retener partículas de polvo existentes en la atmósfera, dañando al sello.**
8. **En su lugar, la aplicación de aceite o grasa debe hacerse a los empaques para facilitar su ensamble y evitar se corten.**
9. **Al realizar el montaje final, asegúrese de dar el ajuste señalado en el dibujo de ensamble, porque esto le proporciona al sello, una carga previa ejercida por la presión del o los resortes, para su buen funcionamiento.**

#### **IV.5. CAUSAS COMUNES DE FALLA EN UN SELLO.**

Se considera que un sello mecánico está fallando, cuando no realiza su función, es decir, se presenta la fuga del líquido bombeado. Las causas comunes de fallas en los sellos son:

1. **El mal manejo de los componentes del sello, al ser instalados.**
2. **Un incorrecto ensamble.**

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



3. Selección impropia de materiales y/o diseños para la combinación de presiones, temperaturas, velocidades y características del fluido en una aplicación dada.
4. Procedimientos impropios de arranque y operación. Esto incluye, arrancar el sello en seco, no presurizar un sello doble antes de arrancar la bomba.
5. Fluidos con alto contenido de abrasivos y sólidos.
6. Desalineamientos, vibraciones, desviaciones del eje.

## IV.6. ANALISIS DE FALLAS.

El objetivo de un análisis, es aprender de la falla. El análisis es a través del estudio de las partes dañadas o gastadas, el chequeo del estado del equipo y la revisión de las condiciones de operación, para mejorar la función del sello. Con las piezas deterioradas, se procede a identificar el tipo de daño. A continuación se presentan las formas básicas de daños químicos, mecánicos y térmicos.

### IV.6.1. ATAQUE QUIMICO:

Es detectado, cuando las piezas aparecen opacas, desmoronadas o llenas de perforaciones. Esta falla es causada por una mala selección de materiales en el manejo del fluido. En el caso de sellos dobles, debe revisarse el sistema de presión y la calidad del fluido barrera.

### IV.6.2. DESGASTE POR CORROSION:

La señal es una fuga del sellado secundario del eje o camisa. El área afectada aparece picada y brillante, comparada con el acabado general del eje o camisa. Originalmente, el movimiento constante del empaque (oscilación), sobre la camisa o eje, roza y limpia el

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



cubrimiento pasivo en unas aplicaciones que normalmente protegen la camisa, pero las vibraciones constantes del empaque sobre estas superficies, remueven el recubrimiento protectorio y permite la continuación de la corrosión.

### **IV.6.3. ATAQUE QUIMICO A LOS ANILLOS "O" RINGS:**

Esta clase de ataque es detectable, si los "O" rings están hinchados o deformados, impidiendo el movimiento axial de la cara sellante rotativa. También los deja con la apariencia de estar desgastados con ampollas.

### **IV.6.4. LIXIVIACION:**

Normalmente causa un pequeño incremento de fuga y un desgaste fuerte a las caras de carbón, cerámica o carburo de tungsteno al cobalto. Las caras afectadas aparecen opacas. La lixiviación es causada por un ataque químico que acaba con la ligadura que sostiene el material base. Ejemplo de soluciones son la sosa cáustica y el ácido fluorhídrico.

### **IV.6.5. DISTORSION DE LAS CARAS:**

Causa una fuga excesiva y es evidente por el desgaste no uniforme observado directamente en las caras. Las causas pueden deberse a un ensamble o instalación impropia del sello, un enfriamiento inadecuado que induzca fuerzas térmicas y distorsión en caras, un mal lapreado de caras o un soporte impropio de la brida.

### **IV.6.6. DEFLEXION DE LAS CARAS:**

También produce un desgaste irregular de caras, en éste caso de 360 grados, es decir, cóncavo o convexo. Una distorsión convexa resulta en una fuga excesiva, mientras una distorsión cóncava, provoca un torque mayor y una elevación de temperatura.

Las causas de deflexión en caras incluye: Soporte impropio de la cara estacionaria, hinchazón de sellos secundarios, deflexión excesiva de sellos, operando fuera de sus límites de presión o un balance inadecuado de fuerzas en las caras.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



### **IV.6.7. EXTRUSION:**

Ocurre especialmente en los empaques y ocasiona que éstos se corten y desmoronen, o como si un cubrimiento fuera pelado. Es causado por excesivas presiones, temperaturas o ataques químicos.

### **IV.6.8. EROSION:**

Deja la cara desgastada en una área localizada y es causada por un lavado con proporción excesiva o porque el líquido lubricante contiene partículas abrasivas.

### **IV.6.9. FRACTURAS POR SOBRECALENTAMIENTO:**

Es identificado por la presencia de fracturas finas y grandes, que aparecen emanar del centro del anillo de metal o cerámico. Estas finas fracturas, cortan la cara de carbón grafitado. La causa primaria de éstas fracturas térmicas es la operación del sello fuera de sus capacidades de presión-velocidad, para una combinación de materiales de caras.

### **IV.6.10. VAPORIZACION:**

La vaporización se detecta, con la presencia de sonidos ligeros y repentinos, y soplos de vapores del líquido en las caras del sello. Al estar operando las caras bajo éstas condiciones, frecuentemente se quiebran en su diámetro exterior y en toda su área presenta picaduras. La vaporización ocurre, cuando la temperatura generada en las caras, no es removida eficientemente, por lo que el líquido entre ellas hierve, convirtiéndose en vapor. La vaporización también es el resultado de operar el sello con líquidos cerca de su punto de ebullición, una presión excesiva para un diseño dado, deflexión excesiva de la cara, o un enfriamiento y lubricación inadecuados.

### **IV.6.11. AMPOLLAS:**

Su formación ocurre en tres fases:

1. En la primer fase, aparecen pequeñas secciones elevadas en la cara.

## SELECCION DEL SELLO MECANICO.



2. En la segunda, las elevaciones se ven estrelladas.
3. Finalmente, las ampollas se separan, dejando huecos en la cara como cráteres.

Las ampollas surgen comúnmente en sellos que operan con líquidos de alta viscosidad o equipos que sufren paros y arranques frecuentes.

## IV.7. DETERMINACION DE LA FALLA A TRAVES DE LA LOCALIZACION DE LA FUGA.

La fuga puede darse por diferentes puntos del sello, lo que da una idea de donde proviene la falla. Los puntos de fuga pueden ser:

- por el drene.
- Entre brida y manga.
- Entre manga y flecha.
- Entre brida y estopero.

Cuando se ha detectado fuga en alguno de esos puntos, la manera de determinar que parte es la que está fallando, es analizar la trayectoria lógica que seguiría el fluido, por cada una de las partes de sellado que se vean afectadas. Así se tiene, que cuando la fuga es:

- Por el drene.- Las partes a revisar son: Cara rotatoria y estacionaria, la junta de la cara rotatoria y la cara estacionaria.
- Entre brida y manga.- Las partes a revisar son: Las caras y juntas de las mismas.

**SELECCION DEL SELLO MECANICO.**



- **Entre manga y flecha.- Revisar junta de la manga.**
- **Entre brida y estopero.- Revisar junta de la manga.**





## **V EJEMPLO DE APLICACION.**

Los líquidos presentes en una planta de Alquilación son: Hydrogen Fluoride (HF.- Acido fluorhídrico), Etano, Propileno, Propano, Iso-Butano, Aminas, Butilenos, N-Butano, Pentano Plus, Alquilado Pesado, Aceite Soluble Acido y Agua, que en su mayoría, operan en un rango de temperatura entre 100°F a 170°F, por lo que van a analizarse los servicios más representativos de la planta, para demostrar la selección de los sellos mecánicos.

La característica principal de una planta de Alquilación, es el manejo de líquidos altamente venenosos y corrosivos, por lo que deben tomarse todas las medidas de seguridad posibles.

### **V.1. EQUIPOS A ESTUDIAR:**

#### **V.1.1. PRIMER CASO.**

**Servicio: Bomba de carga de Isobutano a Racks.**

#### **CARACTERISTICAS DEL FLUIDO A SELLAR:**

1. Nombre del fluido y/o fórmula química: Isobutano/ $C_4H_{10}$ .
2. Sólidos en suspensión: No.
3. Características de los sólidos: No aplica.
4. El fluido es lodoso?: No.
5. Clasificación de peligrosidad del fluido: Inflamable.
6. Gravedad específica: 0.543.
7. Temperatura de operación: 119.7°F.
8. Viscosidad: 0.128 cp.

## EJEMPLO DE APLICACION



9. Punto de congelación: No aplica.
10. Presión de vapor: 79.68 psia.

## CARACTERISTICAS DEL EQUIPO:

1. Fabricante/tamaño y modelo/Nº de serie: IDP/2×3×12 WM-IND/53871-72
2. Montaje de la carcasa: Vertical en línea.
3. Corte de la bomba: Radial.
4. Número de pasos: Uno.
5. Tipo de impulsor: Abierto.
6. Diámetro de flecha y/o camisa (pulg): 1.625/2-1/8-2-3/8.
7. Clase de materiales API-610: S-5 (Acero al carbón).
8. Presión de succión/descarga (psig): 68.8/118.5.
9. Presión en la caja del estopero: Por fabricante.
10. CNPSD/CNPSR (pies): 5.6/2.8.
11. Velocidad de la flecha y sentido de rotación: 3550 rpm/ccw.
12. Movimiento axial: Despreciable.
13. El equipo tiene chaquetas de enfriamiento?: No requiere.
14. Velocidad tangencial: 25.17 pies/seg.
15. Dimensiones de la cámara del sello:
  - a) Diámetro del estopero: 3.386 pulg.
  - b) Primera obstrucción: 6 pulg.

## V.1.1.1. SELECCION DEL SELLO MECANICO DE ACUERDO A API-610 7ª ED.

Primer letra del código: Sello balanceado o no balanceado.

Si la gravedad específica del fluido es menor a 0.7 o su presión de vapor a temperatura de bombeo es superior a 10 psia, significa que requiere de un sello balanceado. Revisando las

## EJEMPLO DE APLICACION



condiciones de operación de ésta partida, resulta que por ambos criterios, es necesario emplear un sello balanceado.

En el supuesto caso de resultar contrario, también debe verificarse con la presión de la cámara del sello, la cual, si es superior a 150 psig, requiere de un sello balanceado.

Para estimar la presión de la cámara del sello, utilizar una de las tres fórmulas, que aparecen en la página 50.

Considerar para un impulsor de simple succión<sup>9</sup> y abierto, aplicar la fórmula de alabes posteriores:

$$\begin{aligned}\text{Presión en la cámara del sello} &= P_s + 0.25 (P_d - P_s) \\ &= 68.8 \text{ psig} + 0.25 (118.5 \text{ psig} - 68.8 \text{ psig}) \\ &= (68.8 + 12.425) \text{ psig} \\ &= 81.225 \text{ psig}\end{aligned}$$

En éste caso, por parte de la presión en la cámara del sello, no requiere sello balanceado, pero por la gravedad específica y la presión de vapor si requiere, por tal motivo, el primer dígito queda definido con la letra B.

Segunda letra del código: Sello sencillo o múltiple.

El Isobutano es un fluido muy ligero, con una gravedad específica menor a 0.7, por lo que es conveniente sellar la bomba con un arreglo múltiple. Sin embargo, al no ser venenoso

<sup>9</sup>Consultar catálogo de fabricante. De no contar con dicha información, considerar que las bombas centrífugas de una etapa, para rangos de capacidad medias, háblese menores de 1000 gpm y cargas no mayores a 300 pies aproximadamente, el impulsor es de simple succión. Para capacidades superiores a 1000 gpm y cargas entre 150 y 1200 pies, si la bomba es de una sola etapa muy probablemente sea de doble succión.

## EJEMPLO DE APLICACION



ni excesivamente contaminante, sólo se necesita emplear un sello tandem, quedando especificada la segunda letra, con una T.

**Tercer letra del código: Características del retén.**

En base al API-610, la brida del sello se solicita con buje de restricción, para minimizar la fuga en caso de fallar el sello, quedando el tercer símbolo del código con la letra T.

Para verificar los materiales adecuados del sello: Caras, sellado secundario y partes metálicas. Puede consultarse el manual de materiales de Borg Warner, teniendo la precaución de seleccionar los materiales clasificados por API-610, 7ª Ed.

Como puede observarse en la parte inferior de la página 160 (ver anexo de manual de materiales), todos los materiales de las partes metálicas son aceptables. En relación a la cara rotatoria, los materiales pertenecientes a la columna F y R no son recomendados. Para los empaques, el único material no conveniente es el especificado en la columna N° 5. Y los materiales de las columnas E y P, no deben emplearse para la cara estacionaria.

De lo obtenido y consultando la tabla D, página 103, se deduce lo siguiente:

Ya que para las partes metálicas, todos los materiales son aceptables, se recomienda especificar acero inoxidable 316, debido a que es el material más utilizado en la construcción de partes rotatorias y retenes del sello, además de ser aceptado por API-610.

En relación a los materiales de empaques, éstos pueden ser de viton o nitrilo por ser de costo económico. Teniendo mayor inclinación hacia el viton, puesto que es más versátil y ofrece resistencia al ataque del medio ambiente, lo que el nitrilo no. Quedando la cuarta letra del código, especificada con una F.

## EJEMPLO DE APLICACION



Como la temperatura de operación, no rebasa los límites de temperatura del empaque seleccionado, no hay necesidad de especificar otro. Cotejar con tabla H-6 del API-610.

En la selección de materiales para las caras y cumpliendo con API-610, éstos pueden ser de carburo de tungsteno al níquel contra carbón, los cuales aparecen con la letra L.

Completa la clasificación del sello mecánico, ésta queda como:

**BTFL**

Especificar si se requiere sello de empuje o no empuje: La temperatura de bombeo es inferior a los 300°F y la velocidad de operación es de 3550 rpm, por lo que si es posible descartar el uso de sellos sin empuje, se realice.

En sellos tandem, el tipo de precarga más recomendable es la de resortes múltiples que ocupan menos espacio. Además, el líquido bombeado no tiene sólidos en suspensión ni es corrosivo, respetando así, el criterio anterior.

### **V.1.1.2. DETERMINACION DE LOS PLANES DE LUBRICACION Y ENFRIAMIENTO.**

El sello tandem requiere de dos planes de lubricación, uno para el sello primario y otro para el sello secundario, localizado en una cámara de mayor presión.

Para seleccionar el plan de lubricación al sello primario, deben considerarse las características generales del producto, es decir, al no ser venenoso ni corrosivo, puede ser aceptable recirculario, para lo cual, los planes que aplican son: 1, 11, 12, 13, 21, 22, 23, 31 y 41, de lo contrario, el plan que aplicaría sería el 32.

## EJEMPLO DE APLICACION



La temperatura de operación es menor a 180°F, entonces, no es necesario emplear planes con cambiador de calor. De igual manera le ocurre a los planes con separador ciclónico o colador, al no ser sucio el producto. Eliminándose así, los planes 12, 21, 23, 31 y 41.

El sistema de lubricación interna no es común, por lo que el plan de lubricación adecuado se encuentra entre el 11 y el 13. Siendo necesario definir la selección a través de la presión en la cámara del sello.

En una bomba horizontal, la presión de la cámara del sello está sujeta generalmente a la presión de succión, es decir, puede ser igual o ligeramente superior a ésta. Si se sabe de antemano que para operar un sello mecánico requiere de la circulación de líquido entre sus caras, entonces debe haber una diferencia de presión para que esto ocurra. Lo anterior se logra, al inyectar el lubricante a una presión mayor que la existente en la cámara del sello, el cual circula hacia el producto.

En cambio en una bomba vertical, la presión de la cámara del sello, es cercana o similar a la presión de descarga, por lo que la circulación del lubricante es del producto lado descarga de la bomba, hacia la cámara del sello, siendo necesario recircular el líquido que fugaría hacia la atmósfera, a una zona de baja presión, es decir, a la succión.

Definido lo anterior, es necesario aclarar, que una bomba vertical en línea, es una bomba horizontal en arreglo vertical, con la presión del estopero similar a la presión de succión, por lo que el plan 13, queda descartado.

Para la lubricación auxiliar al sello externo, sólo existe por API-610, el plan 52. El líquido puede ser recirculable, y se recomienda hacerlo, a través de un anillo linterna. Lo anterior aplica, tanto para sellos tandem como para dobles.

## EJEMPLO DE APLICACION



Al no tener una temperatura de operación superior a los 180°F, no requiere de algún plan de enfriamiento.

### V.1.1.3. SELECCION DEL SELLO MECANICO POR FABRICANTE.

Teniendo los requisitos mínimos que debe cumplir el sello mecánico, a través del código API-610, 7ª Ed., el fabricante tiene la obligación de ofrecer la mejor alternativa para cumplir con el servicio, de acuerdo a sus modelos y materiales de construcción.

Tomando como ejemplo a los sellos mecánicos marca Borg-Warner, se procede a realizar la selección.

Puesto que las bombas de proceso operan a temperaturas y presiones medias y altas, con una gran variedad de fluidos, de entrada debe ser un sello interno, y para tal caso, el modelo QB, es considerado el más adecuado, debido a que es un sello balanceado de tamaño compacto, en donde los rangos de operación, cubren muy bien las condiciones del servicio.

#### a) DETERMINACION DEL TAMAÑO DEL SELLO MECANICO.

Para determinar el tamaño del sello debe conocerse el diámetro externo de la manga o flecha (si no cuenta con manga). Además considerar que por API-610, el espesor mínimo de la manga debe ser de 0.1 pulgadas (2.5 mm), y de 1/8 pulg o múltiplo, para todos los incrementos de flecha o manga en contacto con el sello mecánico.

Siendo un sello tandem balanceado montado en una flecha de diámetro 1.625 pulg., se tiene que para el sello externo, el diámetro de manga es el siguiente: En la cara estacionaria es  $1.625 + (0.125 \times 2) = 1.875$  pulg. Para la cara rotatoria existe aún otro incremento, el cual, sirve para realizar el balance. Idealmente es de  $1.875 + (0.125 \times 2) = 2.125$  pulg. En el sello interno ocurre algo similar, y es como sigue: Para la cara estacionaria, el diámetro de la

## EJEMPLO DE APLICACION



manga es constante a 2.125 pulg., y en la cara rotatoria, vuelve a tener un incremento en forma ideal de  $2.125 + (0.125 \times 2) = 2.375$  pulg para balancear éste último sello.

Resumiendo, el tamaño del arreglo para el primer caso es:

Sello externo: 2.125 pulg.

Sello interno: 2.375 pulg.

### b) SELECCION DE MATERIALES:

De acuerdo a los materiales especificados por API-610 y consultando la tabla D, página 103, el código de materiales resulta ser: 5A4N.

Al tener definidas las características del sello mecánico, la nomenclatura de identificación por Borg-Warner, queda:

**QB-2125/QB<sup>10</sup>-2375-5A4N**

### c) VERIFICACION EN LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA DEL SELLO.

Tanto las dimensiones del alojamiento del sello, como el sello mecánico, deben cumplir con el API-610, 7ª Ed. Para verificarlo, primeramente debe conocerse el diámetro de la flecha, el diámetro del estopero y la dimensión de la próxima obstrucción. Posteriormente, según las características del equipo, se entra a una de las tres tablas que señala el párrafo 2.7.1.4 del API-610, y de acuerdo al diámetro de flecha, se localiza la dimensión mínima radial entre el borde interno de la cámara del sello y la flecha, identificado con la letra B; y la

<sup>10</sup>A pesar de que en los sellos tandem, el sello interno es el que soporta la presión hidráulica, se recomienda utilizar un sello externo, con las mismas características que el sello interno, en éste caso, balanceado, debido a que puede ocurrir una falla en el sello interno, la cual, será soportada por el sello externo.



## EJEMPLO DE APLICACION



longitud mínima, antes de la próxima obstrucción, identificado con la letra C. Pero para bombas verticales en línea suministradas con camisa, no aplica, es decir, para éste caso.

Los planes a suministrar son el 11/52 de acuerdo a lo solicitado, y el fluido externo recomendado es un aceite ligero (butano), determinado de la siguiente forma:

### d) DETERMINACION DEL FLUIDO EXTERNO:

Para un resultado inmediato en la utilización del fluido externo, consultar la tabla de líquidos selladores convenientes, página 70, la cual, por medio de la temperatura recomienda aceite ligero. Pero si es posible, debe seleccionarse a través de la presión de vapor.

De la gráfica I, página 59, se aprecia que para una temperatura de 119.7°F, el butano tiene una presión de vapor aproximada de 75 psig y el isobutano de 95 psig. Si para evitar el flasheo, la presión de la cámara del sello, que es de 81.225 psig., debe ser superior a la presión de vapor del fluido. Esto significa, que el líquido adecuado debe ser el butano.

### e) CALCULO DEL ORIFICIO DE RESTRICCIÓN PARA EL PLAN 11.

Datos:

Fluido: Isobutano.

Gravedad específica: 0.543.

Temperatura: 119.7°F.

Presión de descarga: 118.5 psig.

Presión de la cámara del sello: 81.225 psig.

Tamaño del sello: 2.375.

Consultando la tabla C, página 84, ocurre que para un sello de 2.375 pulg., la circulación promedio es 1.5 gpm.

## EJEMPLO DE APLICACION



Calculo de la carga diferencial:

$$H = (118.5 - 81.23) \times \frac{2.31}{0.523} = 158.55 \text{ pies}$$

Conociendo la circulación promedio requerida y la carga diferencial, se entra a la gráfica III, página 85, de donde se obtiene el diámetro de orificio estándar, que es de 0.098 pulg., con un flujo aproximado de 1.875 gpm.

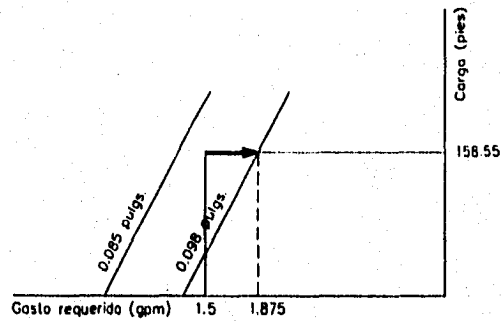


figura 5.1.- Representación gráfica de la obtención del orificio de restricción del 1º caso.

### V.1.2. SEGUNDO CASO.

**Servicio:** Bombeo para almacenamiento de sosa cáustica.

#### CARACTERISTICAS DEL FLUIDO A SELLAR:

1. Nombre del fluido y/o fórmula química: Sosa Cáustica/NaOH.
2. Sólidos en suspensión: 20% NaOH.
3. Características de los sólidos: Solidifican al medio ambiente.
4. El fluido es lodoso?: No.

## EJEMPLO DE APLICACION



5. Clasificación de peligrosidad del fluido: No es peligroso.
6. Gravedad específica: 1.223.
7. Temperatura de operación: 104°F.
8. Viscosidad: 2.6 cp.
9. Punto de congelación: Ambiente.
10. Presión de vapor: 0.783 psia.

## CARACTERISTICAS DEL EQUIPO:

1. Fabricante/tamaño y modelo/N° de serie: IDP/2HNN71/53859-60
2. Montaje de la carcaza: Horizontal (línea de centros).
3. Corte de la bomba: Radial.
4. Número de pasos: Uno.
5. Tipo de impulsor: Cerrado simple succión con montaje en voladizo.
6. Diámetro de flecha y/o camisa (pulg): 1.5/2.
7. Clase de materiales API-610: S-5 (Carbón steel).
8. Presión de succión/descarga (psig): 0/7.1.
9. Presión en la caja del estopero: Por fabricante.
10. CNPSD/CNPSR (pies): 20/3.
11. Velocidad de la flecha y sentido de rotación: 1740 rpm/ccw.
12. Movimiento axial: Despreciable.
13. El equipo tiene chaquetas de enfriamiento?: No requiere.
14. Velocidad tangencial : 11.39 pies/seg.
15. Dimensiones de la cámara del sello:
  - a) Diámetro del estopero: 3.54 pulg.
  - b) Primera obstrucción: 5.85 pulg.

## EJEMPLO DE APLICACION



### V.1.2.1. SELECCION DEL SELLO MECANICO DE ACUERDO A API-610, 7ª ED.

Primer letra del código: Sello balanceado o no balanceado.

Gravedad específica mayor a 0.7 ⇒ No requiere sello balanceado.

Presión de vapor inferior a 10 psia ⇒ No requiere sello balanceado.

Para el cálculo de presión en la cámara del sello de una bomba horizontal con un impulsor de simple succión y en voladizo, utilizar fórmula para alabes posteriores.

$$\begin{aligned}\text{Presión en la cámara del sello} &= P_s + 0.25 (P_d - P_s) \\ &= 0 \text{ psig} + 0.25 (7.1 \text{ psig} - 0 \text{ psig}) \\ &= (0 + 1.78) \text{ psig} \\ &= 1.78 \text{ psig}\end{aligned}$$

Debido a que por ningún motivo se requiere de un sello balanceado, con el simple empleo de un sello desbalanceado puede cumplirse con el servicio. Pero de acuerdo a API-610, se considera como requisito, que para todos los casos se empleen sellos balanceados.

Segunda letra del código: Sello sencillo o múltiple.

La sosa cáustica no es un líquido peligroso, y su gravedad específica es superior a 0.7, por lo que con un sello sencillo se cumple con el servicio. Especificar letra S.

Tercer letra del código: Características del retén.

Se requiere de un buje de restricción para minimizar la fuga en caso de que falle el sello. Consecuentemente el símbolo queda especificado con la letra T.

## EJEMPLO DE APLICACION



**Cuarta letra del código: Material de los empaques:**

Consultando el manual de materiales Borg-Warner, resulta que uno de los materiales recomendados es el teflon, el cual está dentro de la clasificación de sellos por API-610, 7ª Ed., con la letra G. Ver tabla H-4, página 62.

El inconveniente se debe a que es un material demasiado duro y en algunas partes del sello no permite un fácil ensamble. Por experiencia, se recomienda en su lugar, el Etileno-Propileno, debido a que es un elastómero muy manejable y a las condiciones de operación de la sosa, no lo afectan física ni químicamente.

**Quinta letra del código: Material de las caras del sello.**

Consultando nuevamente el manual de Borg Warner se tiene que, los materiales a solicitar son: Carburo de tungsteno al níquel contra carbón, especificados con la letra M, de la tabla H-5, página 63.

**Resulta finalmente, que el código es especificado como sigue:**

**BSTXM**

donde: X = Etileno - propileno.

El material de las partes metálicas puede ser especificado de acero inoxidable 316.

Debido a que es un sello sencillo, que maneja un líquido con sólidos en suspensión y a una temperatura de operación, muy por debajo de los 300°F, el sello debe ser del tipo empuje de resorte único.

## EJEMPLO DE APLICACION



### V.1.2.2. DETERMINACION DE LOS PLANES DE LUBRICACION Y ENFRIAMIENTO.

Para la lubricación de un sello sencillo, montado en una bomba horizontal, que maneja un líquido no peligroso, con una gravedad específica de 1.223, y opera a una temperatura menor de 180°F el plan debe ser un 11.

La sosa cáustica tiende a sedimentar a condiciones atmosféricas por lo que también se requiere de un plan 62. El fluido a emplear puede ser agua caliente o vapor.

### V.1.2.3. SELECCION DEL SELLO MECANICO POR FABRICANTE.

#### a) MODELO DEL SELLO:

De acuerdo a las características del sello especificado por API-610, condiciones de operación y servicio, debe ser del tipo U.

#### b) TAMAÑO DEL SELLO:

Para un sello simple balanceado, suministrado con manga y diámetro de flecha de 1.5 pulg., es:

Cara estacionaria:  $1.5 + (0.125 \times 2) = 1.75$  pulg.

Cara rotatoria (con balance):  $1.75 + (0.125 \times 2) = 2$  pulg.

Por lo tanto, el tamaño del sello mecánico es de 2 pulg.

#### c) SELECCION DE MATERIALES:

En relación a los materiales solicitados por API-610, 7ª Ed., y consultando la tabla D, el código es un 5A5N.

## EJEMPLO DE APLICACION



Finalmente la nomenclatura del sello mecánico para la partida dos es:

**U-2000-5A5N**

### d) VERIFICACION EN LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA DEL SELLO:

Aquí, el diámetro del estopero es de 3.54 pulg., y la primera obstrucción de 5.85 pulg. Si la bomba horizontal es de un sólo impulsor en voladizo, con un diámetro de flecha de 1.5 pulg. y suministrada con manga. La tabla a utilizar es, la 4A, página 96, con un diámetro de flecha menor a 2 pulg., entonces el valor mínimo de B y C son 1 pulg y 5.750 pulg., respectivamente.

Cálculo de B:

$$B = \frac{\varnothing_{\text{ESTOPERO}} - \varnothing_{\text{FLECHA}}}{2} = \frac{3.54 - 1.5}{2} = 1.02 \text{ pulgs.}$$

Cumple con respecto a B.

Si el valor de C en tablas es 5.750 pulg., y el de la bomba da 5.850 pulg., significa que también cumple, por lo que las dimensiones de la cámara del sello son las adecuadas.

Los planes a suministrar son el 11/62, de acuerdo a lo solicitado.

### e) CALCULO DEL ORIFICIO DE RESTRICCIÓN PARA EL PLAN 11.

Datos:

Fluido: Sosa cáustica.

Gravedad específica: 1.223.

**EJEMPLO DE APLICACION**



Temperatura: 104°F.

Presión de descarga: 7.1 psig.

Presión de la cámara del sello: 1.78 psig.

Tamaño del sello: 2.000 pulg.

Para un sello de 2 pulg., la circulación promedio es 1 gpm. Consultar tabla C, página 84.

Cálculo de la carga diferencial:

$$H = (7.1 - 1.78) \times \frac{2.31}{1.223} = 10.05 \text{ pies}$$

De los datos obtenidos en la gráfica III, página 85, se tiene que el diámetro de orificio inmediato superior estándar es: 0.186 pulg., con un flujo de 1.3 gpm.

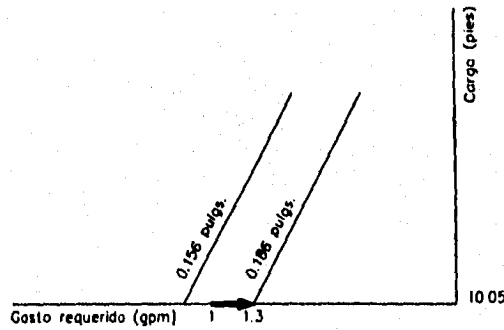


figura 5.2.- Representación gráfica para la obtención del orificio de restricción del 2º caso.

Para el plan 62, el fluido es determinado por el comprador, según con lo que cuente en planta.



## EJEMPLO DE APLICACION



### V.1.3. TERCER CASO.

**Servicio: Reflujo al fraccionador principal.**

#### CARACTERISTICAS DEL FLUIDO A SELLAR:

1. Nombre del fluido y/o fórmula química: Hidrocarburos (Propano, Iso-Butano, trazas de N-Butano) + Acido fluorhídrico.
2. Sólidos en suspensión: No.
3. Características de los sólidos: No aplica.
4. El fluido es lodoso?: No.
5. Clasificación de peligrosidad del fluido: Extremadamente venenoso y corrosivo.
6. Gravedad específica: 0.474
7. Temperatura de operación: 110°F.
8. Viscosidad: 0.092 cp.
9. Presión de vapor: 284 psia

#### CARACTERISTICAS DEL EQUIPO:

1. Fabricante/tamaño y modelo/N° de serie: IDP/4x14 JD/53853-54.
2. Montaje de la carcaza: Horizontal (línea de centros).
3. Corte de la bomba: Radial.
4. Número de pasos: Uno.
5. Tipo de impulsor: Cerrado de doble succión, montado entre rodamientos.
6. Diámetro de flecha y/o camisa (pulg): 2.250/2.750.
7. Clase de materiales API-610: S-9 (Monel).
8. Presión de succión/descarga (psig): 275.9/372.1.
9. CNPSD/CNPSR (pies): 19.9/11.6.
10. Velocidad de la flecha y sentido de rotación: 3540 rpm/ccw.

## EJEMPLO DE APLICACION



11. Movimiento axial: Despreciable por ser de doble succión el impulsor.

12. El equipo tiene chaquetas de enfriamiento?: No requiere.

13. Velocidad tangencial : 34.75 pies/seg.

14. Dimensiones de la cámara del sello:

- a) Diámetro del estopero: 4.61 pulg.
- b) Primera obstrucción: 8.74 pulg.

### V.1.3.1. SELECCION DEL SELLO MECANICO DE ACUERDO A API-610, 7ª ED.

Primer letra del código: Sello balanceado o no balanceado.

Gravedad específica de 0.474, por ser menor a 0.7, se requiere sello balanceado.

Presión de vapor de 284 psia, por ser mayor a 10 psia, se requiere sello balanceado.

Para impulsores de doble succión, se considera a la presión de la cámara del sello igual que la presión de succión, que es de 275.9 psig., siendo su valor superior a los 150 psig., que se requieren como presión máxima, para requerir un sello desbalanceado.

Para éste servicio se ve que por todos los medios, requiere de un sello balanceado.

Segunda letra del código: Sello sencillo o múltiple.

Puesto que el fluido es extremadamente peligroso, definitivamente debe ser un sello doble.

Tercer letra del código: Características del retén.

## **EJEMPLO DE APLICACION**



Como otra medida de seguridad, se solicita un buje de restricción, para que en caso de presentarse una falla en el sello, la fuga del líquido barrera, sea mínima.

Cuarta y quinta letra del código: Material de construcción del sello.

Debido a la peligrosidad del fluido, el licenciador recomienda el uso exclusivo de los siguientes materiales:

Para los empaques, éstos deben ser elastómeros "O" ring de Kalrez o Viton A litarge-curado, sin relleno.

El material de la cara dura debe ser de carburo de tungsteno o carburo de silicio alfa sinterizado, y el material de la cara de desgaste, de carbón P-75 de John Crane, "union carbide" AUT-72 o "marganite" EY-9106C.

La cuarta y quinta letra deben quedar definidas con las letras XX, respectivamente.

Por mismas recomendaciones del licenciador, las partes metálicas del sello deben ser de monel.

Finalmente el código del sello queda especificado de la siguiente manera:

**BDTXX**

Donde la primer X = Viton A litarge-curado sin relleno, y la segunda X = Carburo de silicio alfa sinterizado contra carbón P-75.

Para sellos múltiples que tienen problemas de espacio, el tipo de precarga más recomendable es la de resortes múltiples, cuando la temperatura de operación es menor a

## **EJEMPLO DE APLICACION**



300°F y el líquido no contiene sólidos. Podría especificarse de resorte único a la precarga, debido a que el ácido fluorhídrico es excesivamente corrosivo, pero por no estar en contacto el fluido con la precarga de los sellos, no es necesario especificarlo.

### **V.1.3.2. DETERMINACION DE LOS PLANES DE LUBRICACION Y ENFRIAMIENTO.**

Por la forma de operar del sello doble, éste requiere de una lubricación externa presurizada. Para lo cual, el API-610 maneja 2 alternativas y son los planes 53 y 54.

El plan 54, es un sistema de lubricación central presurizado, conectado a varios sellos, lo que no es conveniente para nuestro caso, ya que si llega a ocurrir una falla en uno de los sellos, la contaminación del lubricante con el producto, dañaría a los demás equipos. Por lo que un sistema independiente de lubricación para cada sello, es lo más correcto, es decir, un plan 53.

La temperatura de operación es inferior a 180°F, lo que significa, no requerir plan de enfriamiento.

Para proteger al sello mecánico del Acido fluorhídrico, es necesario incluir un plan 32, el cual, forma una barrera hidráulica, que impide al producto estar en contacto con el sello, aumentando su vida útil y actuando a su vez, como un dispositivo adicional de sellado.

### **V.1.3.3. SELECCION DEL SELLO MECANICO POR FABRICANTE.**

#### **a) MODELO DEL SELLO:**

De acuerdo a las características del sello especificado por API-610, condiciones de operación y servicio, debe ser del tipo QB.

## EJEMPLO DE APLICACION



### b) TAMAÑO DEL SELLO:

Para determinar el tamaño de un sello doble balanceado, suministrado con manga y diámetro de flecha de 2.250, considerar que: En un arreglo doble, la presión de la cavidad del sello es mucho mayor que la existente en el producto, por lo que la lubricación es desde la cavidad del sello hacia los extremos, es decir, al estopero y a la atmósfera. De lo que se deduce que para el sello externo aplica el mismo criterio en la determinación del tamaño, pero para el sello interno, es inverso, es decir, el espesor de la manga se reduce, ya que el balance no es para reducir la presión de cierre producida por el producto. En otros términos:

Sello externo: elemento estacionario.-  $2.250 + (0.125 \times 2) = 2.500$  pulg.

elemento rotatorio (con balance).-  $2.500 + (0.125 \times 2) = 2.750$  pulg.

Sello interno: elemento estacionario.- Constante al elemento rotatorio del sello externo.

elemento rotatorio (con balance).-  $2.750 - (0.125 \times 2) = 2.500$  pulg.

Por lo tanto el tamaño del sello es 2.750 pulg.

### c) SELECCION DE MATERIALES:

Revisando los materiales requeridos para ésta partida, el código estandarizado por Borg-Warner es 7A4X. Pero debe especificar claramente, la serie o propiedades del material, al cual corresponde, ya que su composición no es común.

Finalmente la nomenclatura del sello es como aparece:

**QB/QB-2750-7A4X.**

#### EJEMPLO DE APLICACION



#### d) VERIFICACION EN LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA DEL SELLO:

Para bombas horizontales de un sólo impulsor soportado entre rodamientos, el API-610, 7ª Ed., no tiene limitantes para la cámara del sello, pero definitivamente debe ser lo suficientemente amplio, para alojar al sello mecánico.

#### e) DETERMINACION DEL FLUIDO EXTERNO:

Con una temperatura de 110°F y a una presión de 275.9 psig., en la cámara del sello, los fluidos recomendados para los planes 32/53 son el butano, isobutano, propano y propileno. Ver gráfica I, página 59.

#### V.1.4. CUARTO CASO.

**Servicio: Rehervidor del fraccionador principal.**

#### CARACTERISTICAS DEL FLUIDO A SELLAR:

1. Nombre del fluido y/o fórmula química: Hidrocarburos (Iso-butano, N-butano, Pentano plus, Alquilado pesado).
2. Sólidos en suspensión: No.
3. Características de los sólidos: No aplica.
4. El fluido es lodoso?: No.
5. Clasificación de peligrosidad del fluido: Aunque las bombas de alimentación al rehervidor no manejan Acido fluorhídrico, el licenciador considera que ocasionalmente puede encontrarse éste fluido, por lo que debe considerarse de alta peligrosidad.
6. Gravedad específica: 0.425.
7. Temperatura de operación: 464.1°F.
8. Viscosidad: 0.06 cp.

## EJEMPLO DE APLICACION



### CARACTERISTICAS DEL EQUIPO:

1. Fabricante/tamaño y modelo/Nº de serie: IDP/8x23J/ -.
2. Montaje de la carcaza: Horizontal (Línea de centros).
3. Corte de la bomba: Radial.
4. Número de pasos: Uno.
5. Tipo de impulsor: Cerrado de doble succión, montado entre rodamientos.
6. Diámetro de flecha y/o camisa (pulg): 3/3-1/2.
7. Clase de materiales API-610: S-9 (Monel).
8. Presión de succión/descarga (psig): 299.7/355.1.
9. Presión en la caja del estopero: Por fabricante.
10. CNPSD/CNPSR (pies): 15.8/10.1.
11. Velocidad de la flecha y sentido de rotación: 1776 rpm/ccw.
12. Movimiento axial: Despreciable por ser de doble succión.
13. El equipo tiene chaquetas de enfriamiento?: Si.
14. Velocidad tangencial: 23.24 pies/seg.

### V.1.4.1. SELECCION DEL SELLO MECANICO DE ACUERDO A API-610, 7ª ED.

Primer letra del código: Sello balanceado o no balanceado.

Gravedad específica = 0.425. Inmediatamente por la gravedad específica uno elige sello balanceado.

Segunda a quinta letra del código API-610: A pesar de no manejar Acido fluorhídrico, a solicitud del licenciador, el servicio de éste equipo, debe ser considerado peligroso, por lo que todos los criterios de especificación deben ser de acuerdo a bombas de Acido fluorhídrico.

## EJEMPLO DE APLICACION



Segunda letra del código: Sello sencillo o múltiple.

Para fluidos extremadamente peligrosos, el tipo de sello que se requiere es el doble.

Tercer letra del código: Características del retén.

Como otra medida de seguridad, se solicita un buje de restricción, para que en caso de falla del sello, la fuga del líquido barrera sea mínima.

Cuarta y quinta letra del código: Material de construcción del sello.

A recomendación del licenciador, el material de los empaques debe ser de Viton A litarge-curado, sin relleno y el de las caras, de carburo de silicio alfa sinterizado contra carbón P-75, quedando definidas la cuarta y quinta letra del código con XX, respectivamente

De manera que el código API-610 del sello resulta ser:

**BDTXX**

Donde la primer X = Viton A litarge-curado sin relleno, y la segunda X = Carburo de silicio alfa sinterizado contra carbón P-75.

Como puede cotejarse en la tabla H-6, página 62, la temperatura de operación en esta partida, excede la temperatura límite que soporta el viton, si fuera otro fluido, lo más conveniente sería seleccionar un nuevo material de empaque que soporte la alta temperatura y tolere el fluido manejado, pero por ser un caso crítico, el procedimiento a seguir es suministrar enfriamiento a las chaquetas, de tal forma, que las condiciones a las cuales opere el viton sean las adecuadas. Esto significa a su vez, que el tipo de sello que se requiere, es de empuje.



## EJEMPLO DE APLICACION



El tipo de precarga que se requiere para el sello doble es de resortes múltiples

### V.1.4.2. DETERMINACION DE LOS PLANES DE LUBRICACION Y ENFRIAMIENTO.

En esta partida los planes de lubricación que aplican son el 53 con cambiador de calor y el 32. Adicionalmente por la alta temperatura, también es necesario dar enfriamiento a la caja de rodamientos y suministrar chaquetas de enfriamiento.

Como puede apreciarse en la figura 3.11, página 72, a partir del plan "E" puede cumplirse con el propósito, pero los planes E al H emplean agua de enfriamiento a condiciones ambientales por lo que el calor retirado no es el suficiente para lograr tener las condiciones adecuadas del fluido externo, en su lugar, debe seleccionarse un plan K o un L.

### V.1.4.3. SELECCION DEL SELLO MECANICO POR FABRICANTE.

#### a) MODELO DEL SELLO:

De acuerdo a las características del sello especificado por API-610, condiciones de operación y servicio, debe ser del tipo QB.

#### b) TAMAÑO DEL SELLO:

El tamaño de un sello doble balanceado para un diámetro de flecha de 3 pulg. es:

Sello externo: elemento estacionario.-  $3.000 + (0.125 \times 2) = 3.250$  pulg.

elemento rotatorio (con balance).-  $3.250 + (0.125 \times 2) = 3.500$  pulg.

## EJEMPLO DE APLICACION



Sello interno: elemento estacionario.- Constante al elemento rotatorio del sello externo.  
elemento rotatorio (con balance).-  $3.500 - (0.125 \times 2) = 3.250$  pulg.

Por lo tanto el tamaño del sello es 3.500 pulg.

### c) SELECCION DE MATERIALES:

El código de Borg-Warner, correspondiente a los materiales especificados por API-610 es 7A4X, debiendo especificar claramente, la serie o propiedades del material.

La nomenclatura del sello mecánico resulta ser:

**QB/QB-3500-7A4X.**

### d) VERIFICACION EN LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA DEL SELLO:

El párrafo 2.7.1.4 del API-610, 7ª Ed., no aplica, debido a que el impulsor de la bomba es soportado entre rodamientos.

### e) DETERMINACION DEL FLUIDO EXTERNO.

El fluido a inyectar para el plan 32, debe ser estable a las condiciones de operación del fluido bombeado. Prestando especial atención al valor de su presión de vapor, a la temperatura de bombeo. Dicha presión de vapor debe ser inferior a la presión de aspiración ( $P_v < 299.7$  psig).

El fabricante recomienda Queroseno.

## EJEMPLO DE APLICACION



### f) CALCULO DEL SERPENTIN.

Datos:

Fluido: Queroseno.

Temperatura: 464.1°F.

Tamaño del sello: 3.500.

Consultando la tabla C, página 84, se tiene que para un tamaño de flecha de 3.5 pulg., la circulación promedio requerida es 2 gpm.

Conociendo el fluido, que en éste caso es el queroseno, se analizan las gráficas número 3, para los diferentes diámetros, páginas 87, 88 y 89, entrando con la circulación requerida y la temperatura de operación.

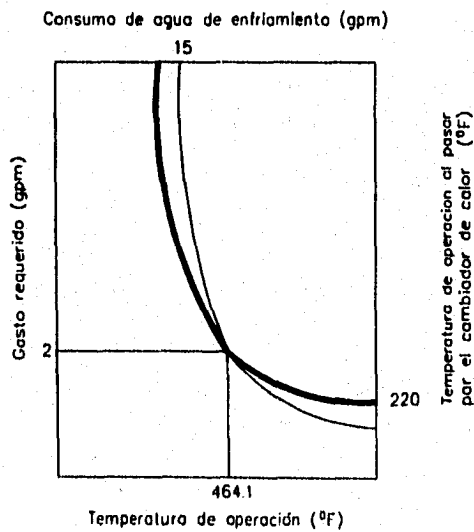


figura 5.3.- Representación gráfica del serpentín para el 4º caso.

#### **EJEMPLO DE APLICACION**



**Después del análisis, se concluye, que un serpentín de 3/4 pulg., de diámetro, alimentado con agua de enfriamiento a 27°F, es el más conveniente, debido a que abate la temperatura del producto hasta 220°F.**



## **CONCLUSIONES:**

**El desarrollo de éste trabajo de tesis nos lleva a lo siguiente:**

- 1. Entender la función y operación del sello mecánico.**
- 2. De la clasificación de sellos mecánicos, determinar el tipo de sello adecuado, dependiendo el servicio, condiciones de operación y características del fluido.**
- 3. Seleccionar los materiales de construcción correctos para las caras, sellado secundario y partes metálicas del sello mecánico, tomando en cuenta las características del fluido y temperatura de operación.**
- 4. Escoger el plan de lubricación más conveniente para el sello mecánico, que incluye: lubricante, presiones, temperaturas y accesorios, ya que si se elige una incorrecta lubricación, podemos ocasionar que el sello se dañe y falle, aún seleccionando el tipo más costoso y seguro, con los materiales de mejores propiedades para el servicio.**
- 5. Se aclaró la diferencia que existe entre un plan de lubricación y uno enfriamiento, y se determinaron los criterios de selección.**

**Una correcta selección del sello mecánico, plan de lubricación y enfriamiento, además de una adecuada instalación del sello, nos brinda seguridad y ahorro.**

**Con respecto a la seguridad, un adecuado dispositivo de sellado, evita que vapores venenosos y sustancias tóxicas vayan hacia la atmósfera, afectando primeramente al personal a cargo, que incluso pueda causarles la muerte, o bien, la fuga del producto, en una planta de refinación, genere un incendio a grandes magnitudes.**



En el caso del ahorro, evitar la fuga de líquidos costosos, nos reditúa inmediatamente la inversión de cualquier tipo de sello, o el simple hecho, de evitar paros frecuentes sin programar, por falla del equipo, nos ahorra grandes pérdidas de producción y tiempos muertos por mantenimiento.

Resumiendo, para especificar adecuadamente un sello mecánico, deben considerarse todos los factores que puedan afectarlo, como son: características del fluido, condiciones de operación, tipo de servicio, características del equipo a sellar y propiamente el tipo de sello a emplear.

6. Otro punto que se manejó fue, determinar el origen de la falla en un sello mecánico y conocer los tipos más comunes de falla.

Cuando ocurra una falla en el sello mecánico hay que agotar todas las posibilidades de falla, no siempre ocurre por una mala selección o diseño del sello. Si la falla es ocasional puede deberse a una mala instalación, pero si las fallas son frecuentes puede deberse a factores ajenos al sello, como: Cargas por dilatación térmica, soportes mal diseñados, operar en una bomba que tiene problemas de cavitación, cambio de condiciones de operación o líquido manejado o bien, cargas en las boquillas.

7. Se aclararon y corrigieron falsos conceptos. Como el de escoger para las caras del sello mecánico, materiales de durezas similares, ya que ofrecen un pobre sellamiento y se dañan entre sí al estar operando.

Otro punto que se aclaró fue, que no siempre el material de construcción del sello más apropiado para manejar el fluido bombeado, es el más conveniente, primero deben verificarse las condiciones de operación y la maleabilidad del material, puesto que si no se toman en cuenta estos factores, puede estarse especificando mal un sello y ocasionar un accidente.

**MANUAL DE SELECCION DE MATERIALES**

**PARA SELLOS MECANICOS**

**(BORG-WARNER)**


































## **BIBLIOGRAFIA:**

- **Autor: Igor J. Karassik y Roy Carter.**  
**"BOMBAS CENTRIFUGAS, Selección, Operación y Mantenimiento".**  
**Editorial CECSA.**
- **Serie CRANE.**  
**"BOMBAS: Selección, Uso y Mantenimiento".**  
**Editorial Mc Graw-Hill.**
- **Autor: Viejo Zubicaray.**  
**"Bombas Centrifugas".**  
**Editorial Limusa**
- **"Selection Manual of BW Seals and Materials".**  
**Editado por BW/IP International, Inc. Seal Division.**
- **"John Crane International Worldwide Mechanical Seals", boletín S-2051-2.**  
**Editado por John Crane.**
- **"Manual de Procedimientos de Ingeniería de Diseño", Sección A/IV.1. Equipo de bombeo.**  
**Editado por PEMEX.**
- **"Selección y Operación de Bombas Centrifugas I.- Curso Básico".**  
**Editado por la Asociación Nacional de las Industrias del Bombeo e Ingeniería A. C.**  
**(ANIBIAC).**

- 
- **"Presentación Norma API-610 de Bombas".**  
Editado por ANIBIAC.
  - **"Programa de Capacitación".**  
Editado por Flexibox.
  - **"Catálogo General de Sellos Mecánicos Borg-Warner".**  
Editado por Byron Jackson Co. S. A.
  - **"Guide to Modern Mechanical Sealing".**  
Dura Seal Manual. Seventh Edition.
  - **"A Mechanical Seal Guide to API-610 Standard 7<sup>th</sup> Edition".**  
Editado por John Crane International.
  - **Autor: Arvind Godse.**  
Revista International Edition "Hydrocarbon Processing", April 1995.
  - **"Centrifugal Pumps for General Refinery Service, API Standard 610".**  
Seventh Edition, February 1989.