

300617



UNIVERSIDAD LA SALLE
ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA UN.

1
2es

“DISPOSITIVOS DE SELLADO INDUSTRIAL”

COPIA CON
FRENTE DEL ORIGINAL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
EN EL AREA DE MECANICA
P R E S E N T A :
Ma. del Pilar Abasolo Sotres

DIRECTOR DE TESIS: *1992*
Ing. Jorge Salcedo González



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 está 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.

INDICE

| | |
|--|-----|
| INTRODUCCION | 1 |
| I.- DISPOSITIVOS DE SELLADO INDUSTRIAL..... | 3 |
| 1.1.- Clasificación de los Dispositivos de Sellado Industrial. | |
| 1.2.- Factores involucrados en la operación de los Dispositivos de Sellado Industrial. | |
| 1.3.- Factores Físicoquímicos. | |
| 1.4.- Concepto de "Cero Fuga". | |
| 1.5.- Factores Económicos. | |
| II.- SELLOS AXIALES | 26 |
| 2.1.- Conceptualización. | |
| 2.2.- Componentes y Principios de Operación. | |
| 2.3.- Clasificación de los Sellos Axiales. | |
| 2.4.- Materiales Recomendados. | |
| 2.5.- Clasificación de los Sellos Mecánicos según API 610. | |
| III.- SELECCION DE SELLOS MECANICOS | 75 |
| 3.1.- Condiciones de Operación. | |
| 3.2.- Parámetros de Selección. | |
| 3.3.- Diagramas de Selección. | |
| 3.4.- Sellos Mecánicos en Servicio Abrasivo. | |
| CONCLUSIONES | 98 |
| BIBLIOGRAFIA | 100 |

INTRODUCCION

El Sector Industrial Nacional en México se encuentra dividido en tres grandes grupos; el primer grupo corresponde a los energéticos el cual se refiere a la electricidad y a la extracción y refinación del petróleo; el segundo grupo abarca a la Industria de la transformación agrupando a los sectores manufacturero, minero, siderúrgico, metal-mecánico y petrolero en sus fases básico y secundario. El tercer y último grupo se refiere al Sector de la Construcción.

Para este proyecto específico nos compete el Sector Petroquímico mismo que podría abarcar cualquier tipo de Dispositivo de Sellado Industrial debido a la gran variedad de productos y procesos que maneja.

Hasta 1984 Pemex producía alrededor de 42 productos diferentes, los cuales se han ido incrementando hasta nuestros días. Todos estos cambios han provocado que las necesidades de sellado sean mejores y mas confiables, por lo que existe en el mercado una gran variedad de ellos cubriendo en su totalidad cualquier necesidad no solo de Petróleos Mexicanos sino también de cualquier otro tipo de Industria.

Los sellos en general son dispositivos utilizados para controlar la fuga de sólidos, líquidos y gases. También son usados para prevenir la penetración de partículas extrañas dentro de recipientes cerrados a sistemas de tuberías, bombas, motobombas y compresores; dichos dispositivos cubren un sin fin de aplicaciones por lo que este proyecto pretende cubrir aspectos generales de selección y funcionamiento del Sello Mecánico, el cual comprende solo una pequeña parte de todos los tipos de Dispositivos de Sellado Industrial.

I.- DISPOSITIVOS DE SELLADO INDUSTRIAL

1.1.- Clasificación de los Dispositivos de Sellado Industrial.

Dentro del campo de los Dispositivos de Sellado Industrial, es posible encontrar un sin fin de aplicaciones a las diversas necesidades de los diferentes fabricantes de equipo que lo requieren; por lo que a continuación se dá una clasificación general de los dispositivos (TABLA I).

La función de un dispositivo de sellado industrial cualquiera que sea su caso, es el de controlar la fuga del fluido en operación.

Los dispositivos de Sellado Industrial pueden ser clasificados en dos grupos; el primero serían los Sellos Estáticos, que como su nombre lo indica no están en movimiento; el segundo grupo sería el de los Sellos Dinámicos, los cuales se encuentran en movimiento junto con el equipo al que sellan.

Dentro del primer grupo (Sellos Estáticos) tenemos a los empaques y a los selladores, en el caso de los empaques de tipo estático tenemos como ejemplo las juntas utilizadas en las bridas de los equipos de bombeo, dichas juntas pueden ser planas, o con diversas figuras, juntas metálicas del tipo de chaqueta sencilla

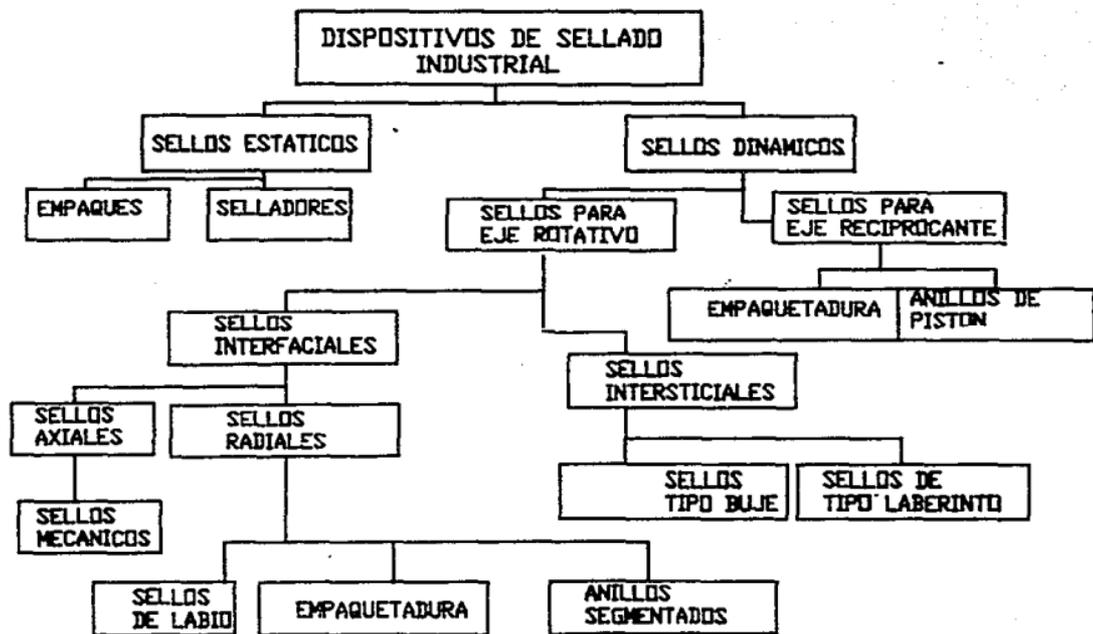


TABLA I

o doble; estas juntas tienen la particularidad de que soportan altas temperaturas por su construcción a base de asbesto (fig.1).

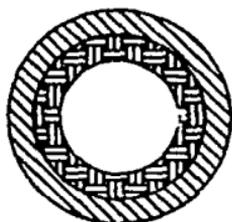
Otro tipo de empaque es la junta flexitalic que normalmente se requiere en tubería bridada, por que a parte de sellar tiene la propiedad de absorber desalineamientos, y resistir altas temperaturas.

Para el caso de los selladores, se utilizan por ejemplo en las roscas de las tuberías, los cuales son aplicados y según sea su tipo soportan diferentes temperaturas y presiones.

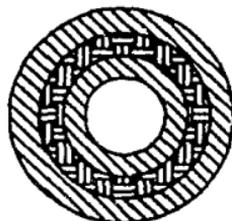
En el segundo grupo (Sellos Dinámicos) se tiene una subdivisión que corresponde a los Sellos para eje rotativo y los Sellos para eje reciprocante, los primeros se subdividen en interfaciales e intersticiales. Los Sellos interfaciales comprenden dos grupos los sellos axiales y los Sellos Radiales estos reciben su nombre por la forma en que están sellando, una de las características principales de estos sellos es que presentan un contacto directo entre los componentes del sellado y el eje rotativo.

Dentro de los Sellos Axiales tenemos a los Sellos Mecánicos, a los cuales nos enfocaremos en el segundo capítulo. Por lo que respecta a los Sellos Radiales; se subdividen en tres grupos que son los sellos de labio, empaquetaduras y Anillos

SELLOS ESTATICOS



JUNTA CON
CHAQUETA SENCILLA



JUNTA CON
CHAQUETA DOBLE

FIG. 1

SELLOS RADIALES



SELLO DE LABIO
SIN PRESION

PRESION



SELLO DE LABIO
CON PRESION

FIG 2

Segmentados; los sellos de labio presentan una forma como su nombre lo indica de labio, para que en el momento de entrar en contacto con la presión del fluido sellen, éstos también cuentan con rangos de temperatura y presiones diferentes (fig.2).

En cuanto a las empaquetaduras que existen, las hay de tipo metálico, plástico y empaquetaduras de fibra o filamentos tejidos, de las empaquetaduras metálicas diremos que las más comunes son fabricadas en plomo, aluminio y cobre, en forma de cintas delgadas, y su uso está limitado debido a que tienen poco poder de recuperación, y no son capaces de absorber las vibraciones excesivas, tienen por otro lado ciertas ventajas, como son el hecho de que tienen una alta disipación de calor y su costo es reducido. En cuanto a la empaquetadura plástica es a base de fibras de asbesto; grafito, aceites y aglutinantes especiales, éstas son utilizadas por su excelente flexibilidad, son útiles para bajas presiones, es mínimo el calor que generan por fricción y su costo es bajo; no son recomendables para altas presiones. También puede darse el caso en que se utilicen los dos tipos de empaquetaduras para sustituir las deficiencias que pudiera tener cada una de ellas. Dentro del grupo de las empaquetaduras de fibra o filamentos tenemos una clasificación de acuerdo al material y la forma en que se hacen; la primera de

ellas es la empaquetadura de fibras vegetales, éstas pueden ser de lino o yute, dichas empaquetaduras son utilizadas contra ejes de bronce (para el caso de una bomba), y en servicios de agua fría; son de muy bajo costo, pero soportan muy poco calor por fricción; el segundo grupo o clasificación son las empaquetaduras de fibra de asbesto, de las cuales podemos decir que soportan grandes temperaturas generadas por fricción, y presentan una resistencia a los ácidos, pero su desventaja consiste en que como su superficie es muy áspera y abrasiva tienen un mayor desgaste en el eje o manga. El tercer grupo corresponde a las empaquetaduras de TFE (politetrafluorietileno), dadas sus propiedades soportan temperaturas hasta de 260°C, por lo que su uso es muy frecuente en la industria; este tipo de empaquetadura tiene como desventaja que su disipación de calor es casi nula, y es de alto costo. El cuarto y último tipo de empaquetadura lo representan las empaquetaduras de grafito, las cuales están fabricadas totalmente de filamento o escamas laminadas de grafito puro, tienen una alta resistencia a la temperatura, son virtualmente inertes al ataque químico y presentan una magnífica disipación de calor, y el problema que tienen es su alto costo y que no resisten oxidantes fuertes.

Los anillos segmentados normalmente se utilizan en

compresores, los materiales con los que se fabrican son de carbón o grafito y teflón con bisulfuro de molibdeno, estos anillos llevan un resorte a tensión en su interior, el cual tiene como función absorber el desgaste que se va presentando en la parte del contacto. Estos dispositivos realizan su sellado de una forma radial y tangencial.

Un ejemplo de dispositivos de sellado de tipo radial son los Retenes, éstos como todos consideran las condiciones de operación para su selección. La eficiencia y la duración del mismo depende del efecto total de tales condiciones y no del efecto individual de cada una de ellas, por separado. Donde el polvo o cualquier elemento o material abrasivo existe, es muy importante seleccionar apropiadamente el tipo de retén para prevenir la falla prematura del elemento sellante.

El elemento a sellar es también factor determinante para seleccionar el tipo de material del retén, en tanto la parte de metal como el elemento sellante. Esto se debe a que existen líquidos o gases corrosivos y el efecto químico debe preverse.

Las velocidades máximas a las que los retenes pueden trabajar, dependen de otras condiciones de operación, tales como el acabado de la flecha, excentricidad, presión, temperatura,

DISEÑOS BÁSICOS DE RETENES

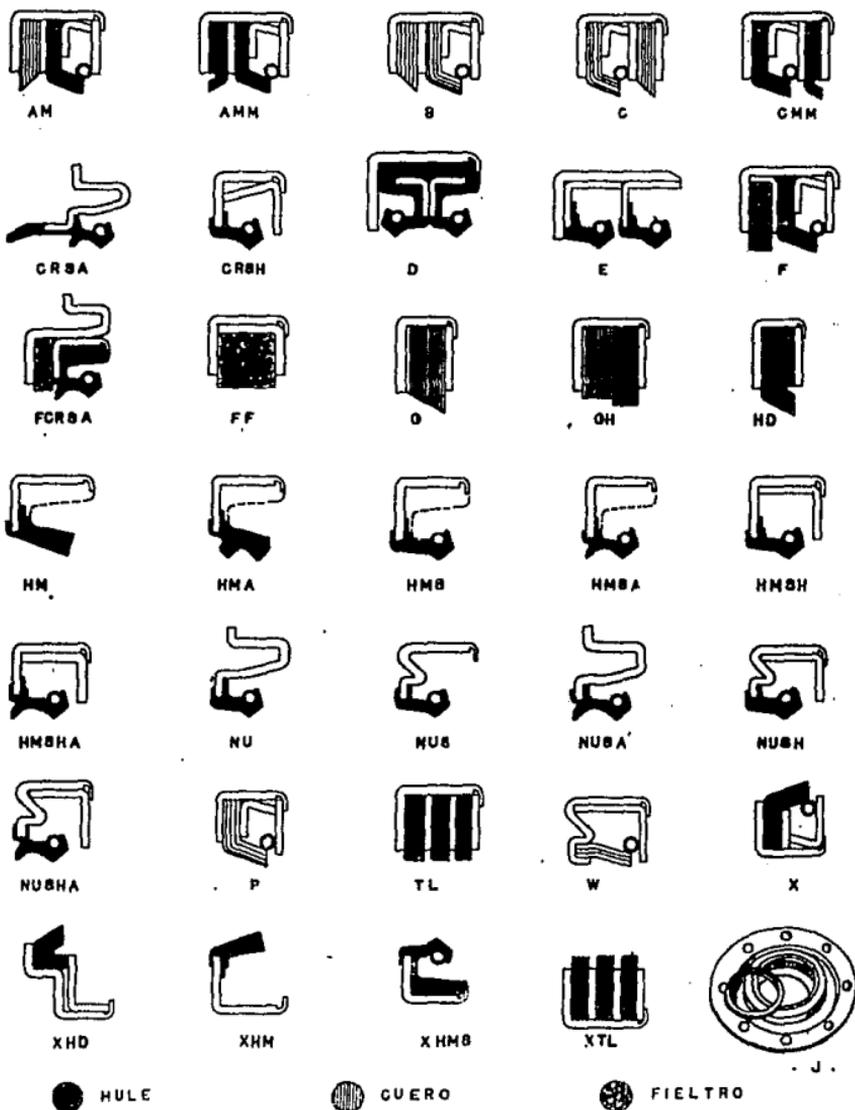


Fig. 3

lubricación. Las dos primeras son las más importantes, cuando se mejora la calidad del acabado del eje y se disminuye la excentricidad, las velocidades a las que el retén pueda operar satisfactoriamente aumentan (fig.3).

Los Sellos intersticiales se subdividen también en dos grupos, siendo su característica principal el hecho de que no exista un contacto mecánico entre sus partes y las que se van a sellar, existiendo un claro entre ellas. Los elementos de este dispositivo permiten una cierta fuga controlada, la cual se efectúa regulando el claro entre sus partes y el eje. La función que tienen estos dispositivos es la de provocar una caída de presión del fluido a sellar con el menor flujo posible y simultáneamente permitir el libre movimiento entre sus partes y el eje. En estos dispositivos la fricción es mínima por que no existe contacto entre sus elementos. Estos sellos se subdividen en sellos de tipo buje y sellos de laberinto, los cuales presentan un claro por donde pasa el fluido, la forma en que está diseñado este tipo de sello permite que la fuga avance creándose una turbulencia, que dá como resultado una diferencia de presión (P).

Los sellos tipo buje tienen como función abatir la presión,

normalmente se fabrican de bronce. Existen diferentes diseños de bujes dependiendo de la aplicación (fig.4).

Los sellos de laberinto tienen también como función abatir la presión, ésto con el fin de reducir la fuga al máximo. Su aplicación básicamente está en los compresores y sus materiales pueden ser de bronce y acero. El sistema de laberintos tiene como trabajo, en el caso de utilizarse para una turbina, reducir la energía del vapor por medio del principio de la estrangulación, y consiste de una serie de ranuras circulares separadas por paredes con bordes afilados. Dado que no existe contacto entre los laberintos y el eje, el desgaste de éstos es mínimo (fig.5).

El segundo grupo que corresponde a los sellos para eje reciprocante está a su vez subdividido en empaquetaduras y anillos de pistón. Los empaques de este tipo los tenemos en aplicaciones de válvulas, las cuales presentan movimiento de tipo reciprocante (fig.6).

Para el caso de los anillos de pistón se pueden utilizar en la industria automotriz, también para aplicaciones neumáticas o compresores. Los materiales que se utilizan normalmente en este tipo de dispositivos son el teflón con bisulfuro de molibdeno o metal, dependiendo de la aplicación que se les dé.

Existen dos tipos de estos anillos, uno de ellos es de posición (anillos de desgaste) y los otros para controlar la fuga (anillos de compresión) (fig.7).

SELLOS INTERSTICIALES

1 - PARTE ESTÁTICA
2 - PARTE EN MOVIMIENTO CON EL EJE

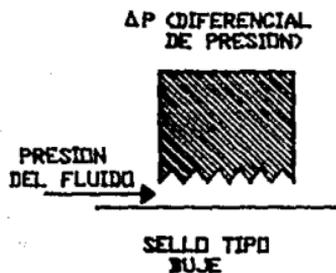


FIG. 4

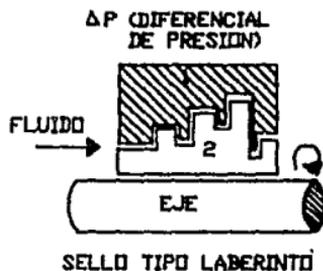


FIG. 5

SELLOS PARA EJE RECIPROCANTE

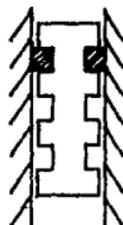
VALVULA



SELLOS PARA EJE
TIPO RECIPROCANTE

FIG. 6

ANILLOS DE PISTON



SELLO DE TIPO
RECIPROCANTE

FIG. 7

1.2.- Factores Involucrados en la Operación de los Dispositivos de Sellado.

El objetivo práctico de cualquier tipo de sellado es permitir la fuga restringiéndola y controlándola dentro de los límites aceptables del proceso.

El tipo de fuga que puede ocurrir y la técnica usada para evitarla depende del principio de la construcción del recipiente.

En la consideración de los problemas de sellado es importante que se comprendan algunos principios físicos y químicos. Algunos de estos principios son básicos en el diseño adecuado de un dispositivo, entre los que se cuentan la geometría posible del sendero de fuga, la diferencia de presión a través del sendero, la viscosidad, la tensión superficial del fluido y la permeabilidad de éste con respecto al material del elemento sellante. Por lo que en el siguiente punto se tratarán algunos de los conceptos básicos involucrados en la operación de los Dispositivos de Sellado Industrial.

1.3.- Factores Fisicoquímicos.

Como se mencionó antes es importante conocer algunos conceptos básicos de la fisicoquímica, para poder entender más adelante el funcionamiento de los Dispositivos de Sellado y lo que éstos involucran.

Como el principal objetivo de un sello es controlar la fuga del fluido, comenzaremos con la definición de hidráulica, que se refiere al estudio de fluidos en reposo o en movimiento. El término de fluido comprende a los líquidos y los gases.

Densidad.- Es el peso por unidad de volumen de una sustancia. La densidad del agua es de 62.4 lb/ft³ a 14 psia (lb/pulg²) y 60 °F.

Presión Atmosférica.- Es la fuerza ejercida en una unidad de superficie por el peso de la atmósfera, la presión al nivel del mar es de 1.033 kg/cm² o 14.7 psia.

$$P = F/A$$

Presión Relativa o Manométrica.- Es la diferencia que existe entre una presión determinada y la presión de la atmósfera. La suma de la presión relativa y la atmosférica nos dá como

resultado una presión absoluta.

Presión Absoluta.- Es la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica. La presión absoluta de la atmósfera al nivel del mar es de 14.7 psia y 0.0 de presión manométrica.

Presión de Vapor.- La presión de vapor de un líquido a determinada temperatura es la presión a la que el líquido se encuentra en equilibrio con su vapor en un depósito cerrado. A presiones por debajo de esta presión de vapor, a una temperatura dada, el líquido empezará a vaporizarse a causa de la reducción de presión de la superficie. (a 15°C la presión de vapor del agua es de 0.0173 kg/cm². A 100°C es de 1.033 kg/cm²). También se define como la presión que ejercen los vapores de un líquido a una determinada temperatura. Se dice que el líquido está en su punto de ebullición cuando la presión de vapor de éste es igual a la presión atmosférica.

Vacio.- Este término se utiliza para expresar presiones menores a la atmosférica. La presión al nivel del mar es de 29,92 pulg de mercurio.

Carga.- Se define como la cantidad de trabajo requerida para mover un líquido de su posición original, a la posición que se requiera el suministro.

Cavitación.- Si la energía en la línea de succión está por debajo de la presión de vapor del líquido, habrá formación de vapor en la corriente o flujo; las burbujas de vapor se colapsan (implosión) al pasar de una zona de baja presión a una zona de máxima presión.

Permeabilidad.- Es la propiedad que presentan algunos cuerpos para permitir la penetración de fluidos a través de ellos, este concepto debe tomarse en cuenta, debido a que si se va a utilizar algún tipo de sellado en un equipo, se necesita primero checar que éste no presente ninguna fuga a través de su estructura, una vez revisado entónces se procederá a hacer la selección del sello que convenga.

Viscosidad.- Es una magnitud secundaria que caracteriza el comportamiento específico de cada fluido, y consiste en la relación que existe entre el esfuerzo o tensión local en un fluido en movimiento con la velocidad de deformación de las partículas fluidas. La temperatura tiene un efecto considerable sobre la viscosidad, la presión influye mucho menos. La viscosidad de los gases y de algunos líquidos aumenta lentamente con la temperatura; el agua muestra una ligera disminución.

Tensión Superficial.- Esta definición se refiere a que cuando un líquido al no ser capaz de expansionarse libremente, formará una interfase con un segundo líquido o un gas. Las moléculas inmersas en la masa líquida se repelen mutuamente debido a su proximidad, pero las moléculas de la superficie libre están en desequilibrio, y por ello la superficie está sometida a tensión. Las interfaces más comunes son:

agua/aire

mercurio/aire

Con una superficie limpia a 20 °C o 68 °F, las tensiones superficiales son:

| | | | |
|--------------|---|-----------|---------------|
| 0.0050 lb/ft | - | 0.073 N/m | agua /aire |
| 0.033 lb/ft | - | 0.48 N/m | aire/mercurio |

Estos valores pueden cambiar considerablemente si la superficie está contaminada. Generalmente decrece con la temperatura y es cero en el punto crítico.

1.4.- Concepto de Cero Fuga

Es importante mencionar que un dispositivo de sellado industrial no impide en un cien por ciento la fuga, por lo que este concepto lo que nos define es el rango de tolerancia de fuga que un sello puede permitir, este rango de fuga es necesario manejarlo sobre todo cuando se van a sellar fluidos extremadamente tóxicos, corrosivos, explosivos o inflamables.

El rango que se maneja es de 0.36 a 0.60 cm³/hr, ésto es para efectos prácticos, y se ha logrado determinar en base a la experiencia que se tiene trabajando con los sellos en el campo. Este dato se aplica únicamente para el caso de los sellos mecánicos. En el caso de las empaquetaduras presentan fugas hasta de 60 cm³/hora.

1.5.- Factores Económicos

Son factores básicos para hablar de la parte económica de un producto, en este caso los dispositivos de sellado, conocer los diferentes dispositivos que existen en el mercado, así como la facilidad con la que se encuentran, una justificación técnica, el grado de fuga tolerado según sea el producto a sellar, el precio y la calidad, en fin una serie de factores que van a llevarnos a una mejor elección.

En este punto se va a llevar a cabo una comparación entre las empaquetaduras en general y los sellos mecánicos, lo que dará la pauta para formarse un criterio en cuanto a las características de cada uno de ellos y la conveniencia en la selección del adecuado, tomando en cuenta por supuesto la parte económica.

Tradicionalmente se usaban las empaquetaduras para cubrir la función del sellado, teniendo algunas desventajas como lo son el hecho de que se requiere de una inspección constante, así como de un reemplazo frecuente por el desgaste que sufren debido a la fricción, además provocan que la flecha sufra el mismo desgaste, lo que consecuentemente representa un alto costo de mantenimiento; otro de los problemas a los que se enfrentaban al usar las empaquetaduras, es que permite una fuga constante, que

en el caso de usar algun tipo de fluido muy abrasivo o flamable o con alguna característica que lo haga peligroso en su manejo, podrá traer a la larga problemas muy fuertes. Todas estas desventajas hacen que el Sello Mecánico sea una solución, por su gran variedad y su aplicación particular, ésto crea una seguridad a quienes lo ocupan, sobre todo en el caso de manejar fluidos de alto riesgo, así como la reducción en el costo del mantenimiento; es importante también mencionar que el sello mecánico es un producto costoso, por ser de alta calidad, pero proporciona mejores resultados.

Algunas de las Ventajas que presenta el Sello Mecánico

- 1.- Reduce la fricción y pérdidas de potencia, lo que le da mayor vida tanto al sello como al equipo que maneja.
- 2.- Elimina un desgaste prematuro en el eje y la camisa.
- 3.- La fuga es mínima.
- 4.- Reduce la frecuencia de mantenimiento, y tiempo de éste.
- 5.- Permite operar con seguridad fluidos tóxicos, corrosivos o inflamables.

Por lo comentado anteriormente podemos darnos cuenta que la diferencia de precio entre uno y otro podría ser muy grande, pero de la misma forma nos podemos cuestionar cual de ellos va a

darnos un mejor resultado a largo plazo.

DIAGRAMA I

Este diagrama (tiempo-Dinero) nos marca una comparación entre las empaquetaduras y los sellos. Primero para el caso de la empaquetadura presenta una línea de tipo ascendente. Para un tiempo estimado de tres meses la empaquetadura va a tener un determinado costo, el cual se va a ir incrementando conforme pase el tiempo, hasta llegar a un punto de equilibrio junto con los sellos mecánicos; a partir de este punto el precio de la empaquetadura se va a disparar conforme pase el tiempo, en tanto que el sello mecánico tiene un mismo costo durante los dos años que es un tiempo de vida estimado.

Se mencionan a continuación cinco factores importantes que intervienen en la selección de un dispositivo de sellado industrial, tomando como parámetro la cuestión económica.

1.- Mantenimiento

2.- Seguridad

3.- Confiabilidad

4.- Producto desperdiciado.- Para ser un poco más específicos, diremos que la empaquetadura presenta una fuga hasta de 60cm³/hora, lo que definitivamente se traduce en dinero; para el

sello mecánico esta fuga se reduce a 0.36 cm³/hora.

5.- Costo.- Este último factor sería la consecuencia de los anteriores, ya que en un principio podría darse el caso de una inversión alta para la compra de un sello mecánico, pero habría que entrar mas en detalle y decidir si la seguridad, confiabilidad, mantenimiento y producto desperdiciado a la larga no van a crear un costo mayor; en cambio uno de bajo costo inicial podría presentar dificultades más frecuentemente y requerir de un mantenimiento en lapsos de tiempo cortos.

DIAGRAMA COMPARATIVO ENTRE SELLOS
MECANICOS Y EMPAQUETADURAS

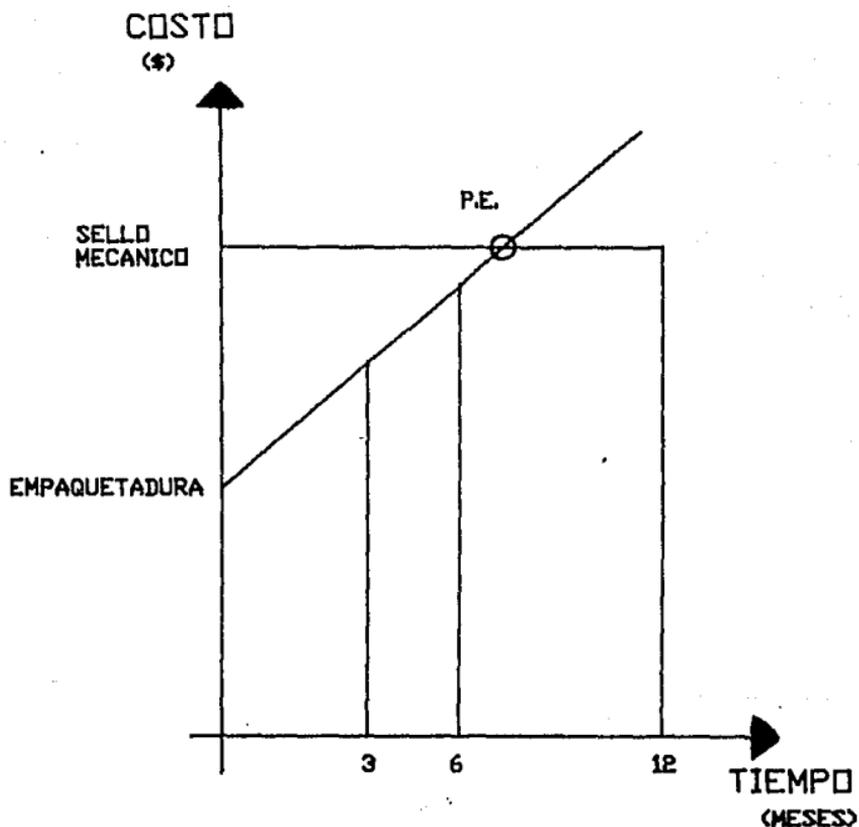


DIAGRAMA I
COSTO-TIEMPO

II.- SELLOS AXIALES

En el capítulo anterior se trató la clasificación en general de todos los tipos de Dispositivos de Sellado Industrial, pero cabe aclarar que de ahora en adelante se hará un mayor énfasis a los Sellos Axiales o Sellos Mecánicos, por el hecho de que no se alcanzaría a cubrir este proyecto todos los aspectos que dichos dispositivos involucran.

2.1.- Conceptualización

La definición de Sellos es : "Dispositivos utilizados para controlar la fuga de líquidos, sólidos o gases. También son usados para prevenir la penetración de partículas extrañas dentro de recipientes tapados a sistemas de tuberías"; puede ser definido como: "Dispositivo que previene el escape de fluido de un recipiente, al cual, atraviesa una flecha rotativa, realizándose el sellado por el contacto axial de sus caras que se encuentran perpendiculares a la flecha y en movimiento relativo una con otra". Puede decirse entonces que un Sello Mecánico es la respuesta a los problemas de prevención de fuga entre flechas rotantes y sus carcasas.

2.2.- Componentes y Principio de Operación

Para poder hablar de funcionamiento del Sello Mecánico, es necesario que se describan las partes de las que está compuesto.

Para ilustrar el principio de operación de los sellos mecánicos, veremos en la (fig. 8) los componentes básicos de éste.

Los componentes básicos a los que nos referimos son los que a continuación se enumeran:

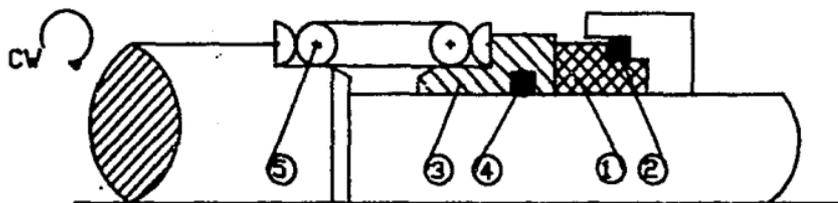
- 1.- Cara estacionaria.
- 2.- Empaque de la cara estacionaria.
- 3.- Cara rotativa.
- 4.- Empaque de la cara rotativa.
- 5.- Resorte.

Aún cuando dentro de los sellos mecánicos existe una gran variedad de los mismos, con diferentes aplicaciones cada uno, todos tienen el mismo principio básico de diseño.

Dicho sello mecánico está compuesto de elementos por separado; es decir por una cara rotatoria y una cara estacionaria; Estas dos piezas constituyen el corazón del sello mecánico, y al efectuar el sello dinámico entre el plano de sus caras reciben el nombre de elementos sellantes primarios.

- 1.- ANILLO ESTACIONARIO
- 2.- EMPAQUE DEL A. ESTACIONARIO
- 3.- ANILLO ROTATORIO
- 4.- EMPAQUE DEL ANILLO ROTATORIO
- 5.- RESORTE

28



SELLO MECANICO BASICO

FIG. 8

El acabado de las caras de contacto tendrá importante influencia en la cantidad de fuga entre ellas. Como norma las caras se lapearán hasta obtener un reflejo bajo fuente de luz monocromática, dependiendo del diámetro de las caras.

Dado que las caras de contacto están separadas; cada una ha creado otra posible senda de fuga que debe ser sellada; y para ésto se utilizan elementos sellantes secundarios. El sello secundario entre el asiento y la pared de la caja es estático, por el contrario el sello secundario entre la flecha y la cara rotativa es en cierto modo dinámico, puesto que es requerido a desplazarse en cuanto aparece un desgaste entre las caras de contacto.

Estos empaques se comportan como si fueran un fluido, y se acomodan sellando perfectamente. El empaque pierde su elasticidad cuando no existe una compatibilidad con el fluido, en este caso se endurece y pierde sus propiedades. Es importante que el acabado de las piezas sea lo menos rugosa posible, ya que el empaque tendrá menos problema para deslizarse en el momento de instalarlo.

La función del resorte es proporcionar una fuerza axial, ayudando así al cierre de las caras de contacto; este resorte

tiene su reacción contra una camisa, la cual se sujeta al eje por medio de prisioneros para dar el arrastre positivo, o también puede tener su reacción sobre el mismo eje dependiendo del tipo de diseño. El resorte funciona también como un amortiguador, ya que en el caso de que por alguna circunstancia externa, como es el caso de el paso de sólidos en suspensión a través de las caras, podría existir un desalineamiento que sería de inmediato absorbido por el resorte. En cuanto a la camisa que sujeta al resorte su única función es la de proteger al eje del desgaste prematuro a causa del sello mecánico, esto en caso de utilizar camisa.

El elemento principal de sellado vendría siendo la misma presión del fluido que se está manejando. En caso de un paro del equipo al que se está sellando, el resorte inmediatamente cierra las caras de contacto evitando así el escape del fluido. En el caso del resorte es necesario que se tenga un perfecto acabado del mismo para que pueda instalarse de manera fácil sin crear distorsión entre las caras.

FUERZA DEL RESORTE + PRESION DEL FLUIDO BOMBEADO = CIERRE DE LAS CARAS DE CONTACTO

PRESION ATMOSFERICA = APERTURA DE LAS CARAS DE CONTACTO.

Las caras de contacto están en movimiento una con respecto a la otra y entre ellas se va a establecer una película de fluido, también llamada película de lubricación (fig. 9).

Este fenómeno se presenta en la práctica, aunque su explicación se mantiene dentro de un nivel teórico incompleto aún.

Un sello mecánico está funcionando apropiadamente cuando existe una retención del fluido a sellar y cuando se mantiene una adecuada película interfacial de lubricación. Esta película interfacial la constituye la cuña de presión.

Las caras del sello son empujadas por fuerzas axiales, esto da por resultado una presión entre ellas. La magnitud de la presión efectiva es muy importante, por que si es muy alta, la película de la cuña será expulsada y al funcionar el sello en seco se acelerará la destrucción de las caras.

La acción de las fuerzas axiales se muestra a continuación (fig.10).

El fluido en el recipiente tiene una presión P_1 actuando sobre el diámetro exterior del sello. Esta presión deberá ser sellada. En la región del diámetro interior existe la presión P_2 , por lo tanto existe una diferencia de presión $\Delta P = P_1 - P_2$. P_2 será la presión atmosférica y para efectos prácticos podemos

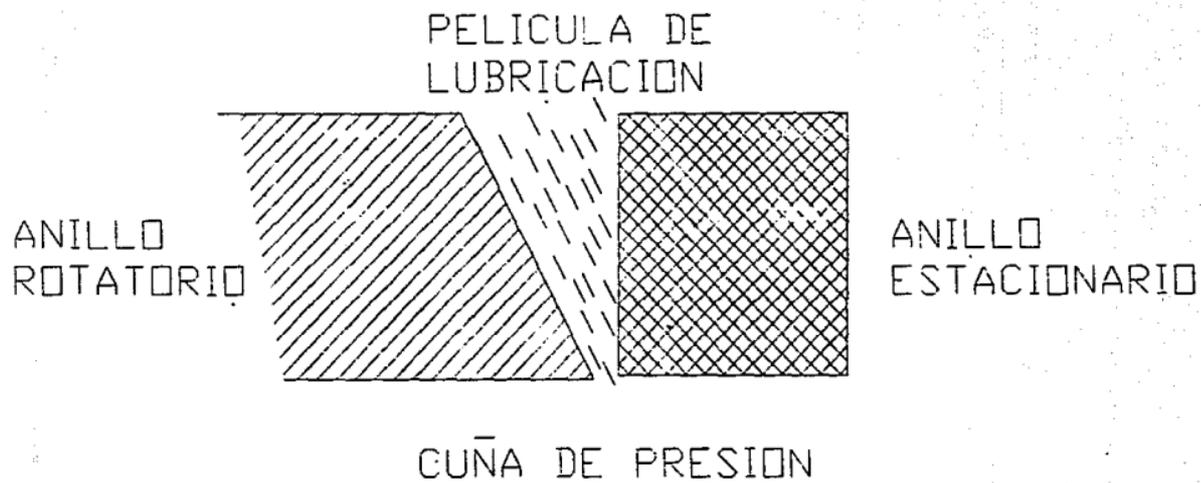
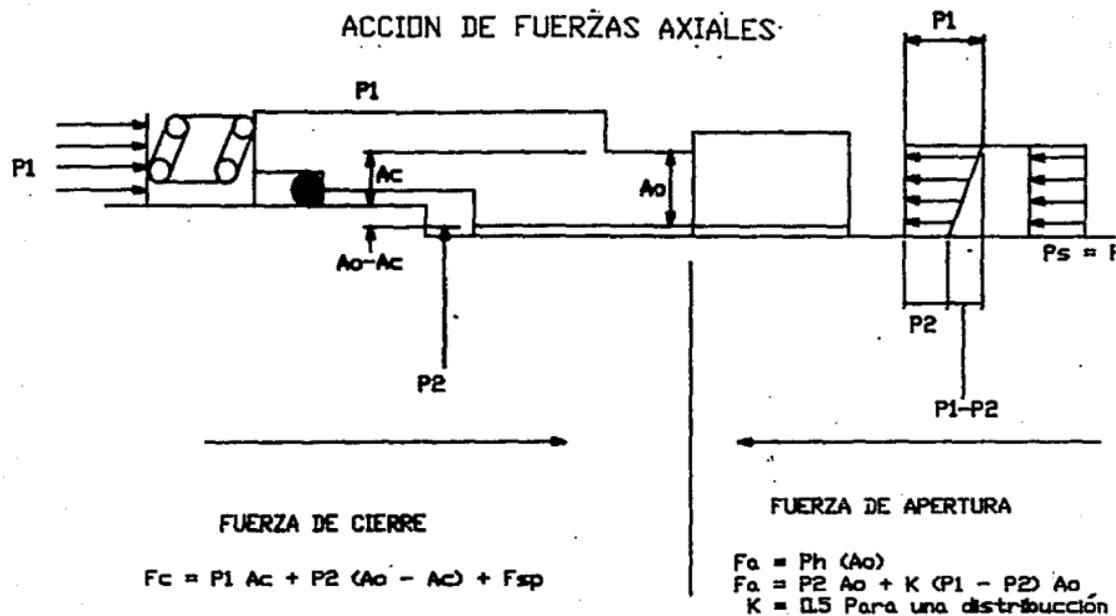


fig. 9

ACCION DE FUERZAS AXIALES



Presión efectiva de cierre

$$P_f = \frac{F_c - F_o}{A_0} = P_h + P_{sp}$$

fig. 10

considerarla igual a cero. La presión efectiva en las caras es Pf que es la resultante de la fuerza de cierre menos la fuerza de apertura de las caras Ao.

La interpretación geométrica del vector de presión muestra que la presión efectiva en las caras Pf es la suma de la presión hidráulica Ph mas la presión del resorte Psp.

$$P_f = P_h + P_{sp} \text{ ----- (1)}$$

En la figura anterior, la cuña se muestra de manera lineal. geoméricamente es un triángulo y para representar la cuña de presión de una manera exacta, es necesario incluir un factor de gradiente "k". Para una distribución lineal de 0.5 y para una distribución concava menor de 0.5, para una distribución convexa mayor de 0.5 (fig.11).

El promedio de distribución de la presión puede expresarse como:

$$p = \frac{2 \int_{r_1}^{r_2} p(r) dr}{A_o} \text{ -----(2)}$$

Cuando se analicen los sellos balanceados retomaremos estos conceptos, para complementar esta teoría.

CUÑA DE PRESION EN SELLOS MECANICOS

35

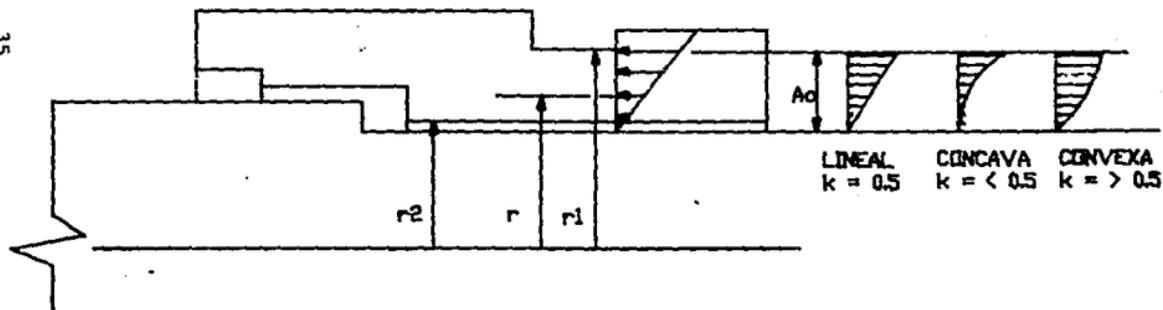


FIG. 11

Para que exista un buen funcionamiento del sello mecánico, debe de tomarse en cuenta que el equipo utilizado no presenta ningún tipo de fuga en su construcción, es decir a través de sí mismo.

Esto únicamente se refiere a los sellos básicos como ya lo mencionamos antes, pero aún existen otros tipos de arreglo con diferentes componentes, así como otros posibles senderos de fuga (fig.12).

Las otras posibles trayectorias de fuga se dan entre la Camisa y el eje, por lo que se requiere de un empaque, y el otro caso sería un empaque para la brida, en el caso de requerir la brida.

Para que el sello pueda transmitir el movimiento del elemento motriz del equipo al elemento rotativo del sello, necesita algún medio que lo ayude a realizar el esfuerzo, en este caso estamos hablando de tornillos, cunas, prisioneros, etc.

El sello mecánico también utiliza una brida o tapa misma que le ayuda a lubricar sus caras de contacto, así como sirve de conducto para llevar al sello alguna ambientación. Dichas bridas con un barreno para la circulación al sello mecánico y otro

barreno opcional para limpiar los sedimentos que pudieran tener las caras de contacto.

Como ya se mencionó, un sello mecánico incluye dos caras girando una sobre la otra, lo que provoca una generación de calor por fricción. Es necesario que entre las caras se mantenga una estabilidad de la película lubricante, esto es para eliminar el calor en esta región o de lo contrario el fluido tenderá a hervir, provocando una pérdida en la función del sellado. El calor que se genera depende del área de contacto de las caras, de la viscosidad del fluido, la presión, el tamaño del sello y la velocidad con que gira el equipo.

El cálculo del calor generado entre las caras de contacto está dado por la siguiente fórmula:

$$H_g = N \times f \times 10^{-9} \left((8.2 \times Q^{2.44} \times p) + (59 \times Q^{2.34}) \right) \text{ ---(3)}$$

donde:

H_g = Calor generado entre las caras (Kw)

N = Velocidad (rpm)

f = Factor de fricción

Q = Tamaño nominal del sello en mm

P = Diferencia de presión entre las caras de contacto

También existe un calor absorbido por el sello del fluido bombeado y se calcula de la siguiente fórmula:

$$H_s = \frac{k \times i i \times D^2}{4 \times X} (T_p - T_s) \times 10^{-6} \quad (4)$$

donde:

Hs = Calor absorbido (kw)

k = Conductividad térmica del material del equipo a sellar (W/m
°C)

D = Diámetro de la caja de estoperos (mm)

X = Espesor del impulsor (mm)

Tp = Temperatura de la bomba (°C)

Ts = Temperatura en el sello (°C)

Estos calores, tanto el generado como el absorbido puede tener consecuencias en el sello, por lo que el sello requiere de una circulación, la cual consiste en acondicionar un flujo del mismo fluido bombeado para que pase por todo el sello, esto hace que transfiera el calor generado localmente al flujo principal del equipo (normalmente va de la descarga de la bomba).

Para el cálculo de la circulación requerida existen dos aspectos a considerar. Al calcular el flujo de circulación necesario, primeramente la cantidad deberá ser suficiente para prevenir sedimentos en la caja del sello, en segundo lugar, el aumento de la temperatura del fluido no deberá afectar el funcionamiento del sello.

En el primer caso, la cantidad de flujo para evitar la sedimentación se calcula por el número de cambios de fluido en la caja del sello por unidad de tiempo; el segundo caso, la circulación es usada también para eliminar el calor generado en las caras de contacto. El calor generado varía considerablemente según sea el diseño del sello y las condiciones de operación, por lo que cada aplicación deberá ser considerada individualmente (tabla II).

Para que exista un mejor funcionamiento del sello mecánico deberá proporcionársele una ambientación la cual consiste en hacer que las condiciones de operación sean más nobles para garantizar una vida útil del sello más larga.

En cuanto a la ambientación el sello mecánico mencionaremos los planes con sistemas más comunes marcados por API 610 (fig. 13).

| MÍNIMO FLUJO DE CIRCULACION REQUERIDA | | |
|--|---|--------------------|
| DIAMETRO DE EJE □ CAMISA (mm) | CIRCULACION MINIMA EN LITROS POR MINUTO | |
| | SELLOS NO BALANCEADOS | SELLOS BALANCEADOS |
| 20 | 0.35 | 0.45 |
| 25 | 0.50 | 0.45 |
| 30 | 0.70 | 0.75 |
| 35 | 0.80 | 0.85 |
| 40 | 0.90 | 1.00 |
| 45 | 1.20 | 1.40 |
| 50 | 1.40 | 1.60 |
| 55 | 1.60 | 2.00 |
| 60 | 2.00 | 2.50 |
| 65 | 2.10 | 3.00 |
| 70 | 2.50 | 3.50 |
| 75 | 2.70 | 4.00 |
| 80 | 3.30 | 4.20 |
| 85 | 4.00 | 4.50 |
| 90 | 4.20 | 5.00 |
| 95 | 4.50 | 5.50 |
| 100 | 5.50 | 6.50 |

TABLA II

SISTEMAS DE AMBIENTACION A SELLOS MECANICOS POR API 610

Planes de Enfriamiento para Sellos Primarios

PLAN 1 .- Recirculación Integral interna desde la descarga al sello.

PLAN 2 .- Caja de estopero ahogada sin circulación, chaqueta de enfriamiento con anillo de restricción, a menos que se especifique lo contrario.

PLAN 11.- Recirculación desde la descarga al sello a través de un orificio.

PLAN 12.- Recirculación desde la descarga a través de un orificio y un filtro tipo Y (Separador ciclónico)

PLAN 13.- Recirculación desde el sello a través de un orificio o controlador de flujo y regreso a la succión.

PLAN 21.- Circulación al sello a través de un enfriador, orificio o controlador de flujo.

PLAN 22.- Circulación al sello a través de un orificio, filtro y un enfriador.

PLAN 23.- Circulación desde el sello con anillo de bombeo a través de un enfriador y regreso al sello.

Planes de Enfriamiento para Bombeo de Líquidos Sucios

PLAN 31.- Circulación desde la descarga a través de un ciclón separador enviando el líquido limpio al sello, y el sucio a la succión.

PLAN 32.- Suministro de líquido limpio de una fuente externa.

PLAN 41.- Parecido al plan 31 pero con un enfriador entre sello y ciclón.

Planes para Enfriamiento para Bujes de Restricción (Sellos Dobles y Sellos Tandem)

PLAN 51.- Cámara ahogada, usualmente metanol

PLAN 52.- Recipiente no presurizado con líquido externo. Circulación forzada, usado comúnmente en el Sello Tandem.

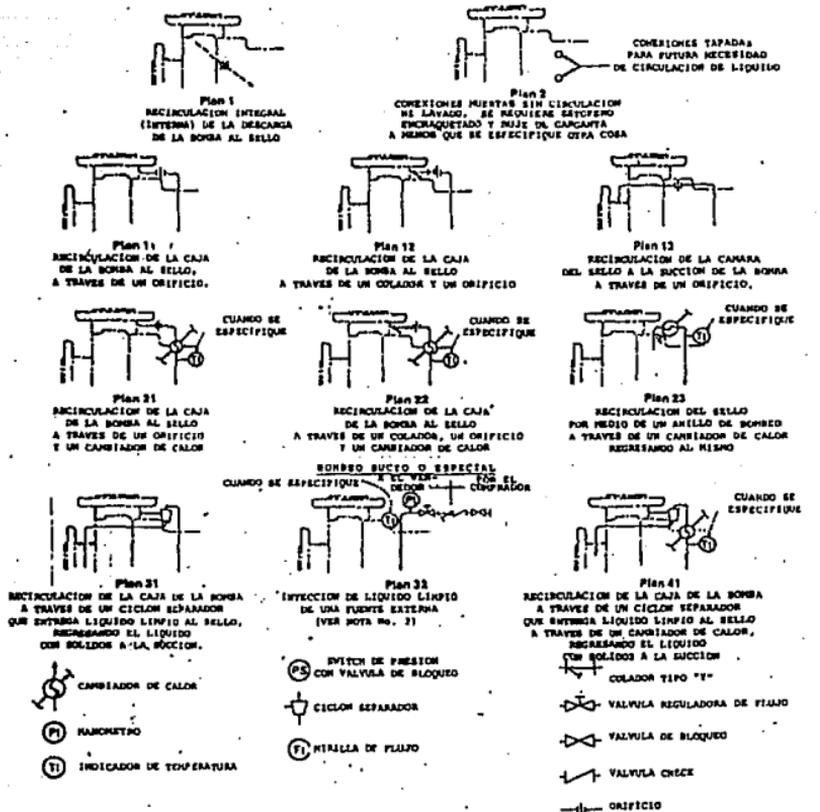
PLAN 53.- Recipiente presurizado con líquido externo. Circulación forzada, usado comúnmente en el Sello Doble.

PLAN 54.- Circulación externa de fluido líquido.

PLAN 61.- Conexiones machueleadas para el usuario.

PLAN 62.- Venteo de fluido externo vapor, gas o agua.

BOMBEO LIMPIO



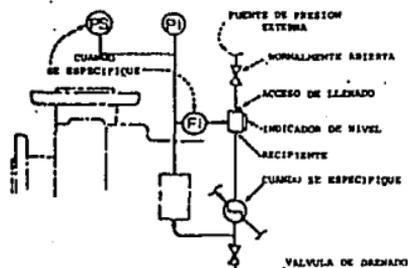
NOTA: 1.- ESTOS PLANES REPRESENTAN LOS SISTEMAS USUALES COMUNMENTE; OTROS SISTEMAS Y VARIACIONES ESTAN DISPONIBLES Y DEBERAN SER ESPECIFICADOS EN DETALLE POR EL COMPRESOR, O MUTUAMENTE ACORDADAS POR AMBAS PARTES.

2.- PARA EL PLAN 13, EL COMPRESOR DEBERA ESPECIFICAR LAS CARACTERISTICAS DEL FLUIDO Y EL PROVEEDOR DEBERA VERIFICAR EL VOLUMEN (G.P.M.) Y LA PRESION (PSIG) REQUERIDAS.

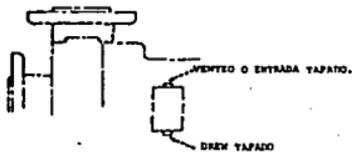
FIG. 13



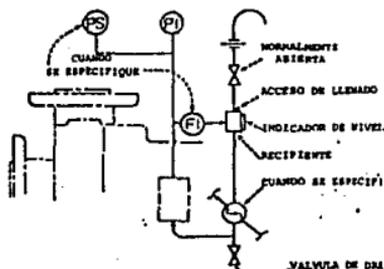
Plan 51
SALIDA MUERTA (NORMALMENTE SE USA CON METANOL)
(VER NOTA No. 3)



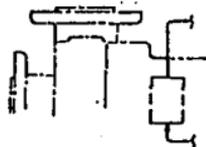
Plan 53
RECIPIENTE DE LIQUIDO EXTERNO (VER NOTA No. 3)
PRELUBRIZADO; POR TERMOFISON O POR CIRCULACION FORZADA,
COMO SE REQUIERA



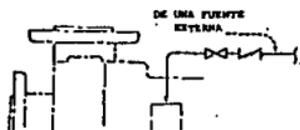
Plan 54
CONEXIONES BORNADAS PARA USO DEL COMPRAZOR;
LA NOTA No. 3, APLICARA CUANDO EL COMPRAZOR
VA A SUMINISTRAR FLUIDO (VAPOR, GAS, AGUA,
ETC.) AL DISPOSITIVO AUXILIAR DEL SELLADO.



Plan 52
RECIPIENTE DE FLUIDO EXTERNO
(VER NOTA No. 3) NO PRELUBRIZADO;
POR TERMOFISON O POR CIRCULACION
FORZADA, COMO SE REQUIERA.



Plan 54
CIRCULACION DE FLUIDO LIMPIO
DE UN SISTEMA EXTERNO
(VER NOTA No. 3)



Plan 52
LAVADO DE FUENTE EXTERNA
(VAPOR, GAS, AGUA, ETC.)
(VER NOTA No. 3)

NOTAS: 1.- IDEN A PAGINA ANTERIOR.

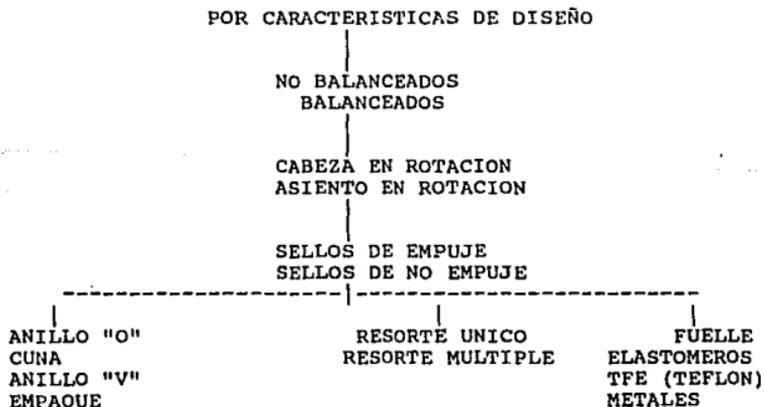
2.- EL COMPRAZOR DEBERA ESPECIFICAR LAS CARACTERISTICAS DEL FLUIDO CUANDO UN FLUJO SUPLEMENTARIO ES PROVEISTO AL SELLO; EL PROVEEDOR DEBERA ESPECIFICAR VOLUMEN Y PRESION REQUERIDAS CUANDO ELLO PROCEDA.

2.3.- Clasificación

Así como existe una clasificación general para todos los tipos de dispositivos de sellado industrial, también la hay para los Sellos Mecánicos (tabla III).

En primera instancia los sellos mecánicos se clasifican en dos grandes grupos: Por Características de Diseño y por Arreglo Posicional.

El primer grupo que comprende a los sellos mecánicos de acuerdo a sus características de diseño, tiene la siguiente clasificación:



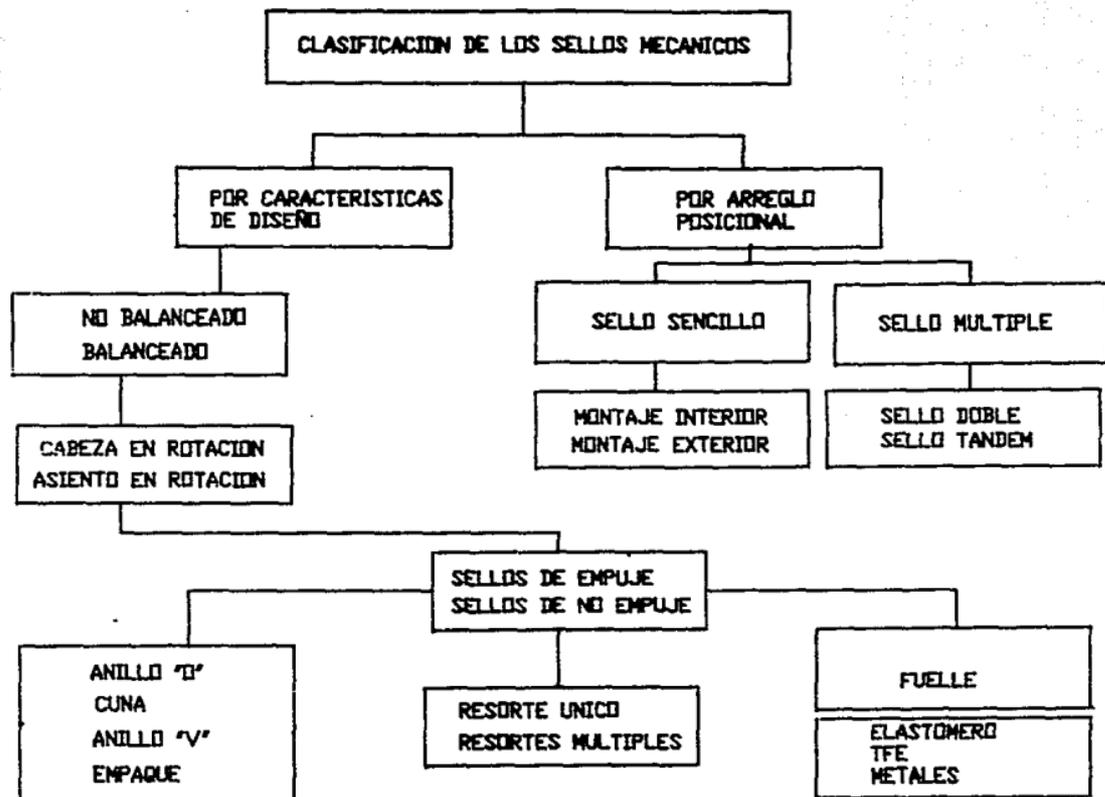


TABLA III

Sellos No Balanceados y Balanceados

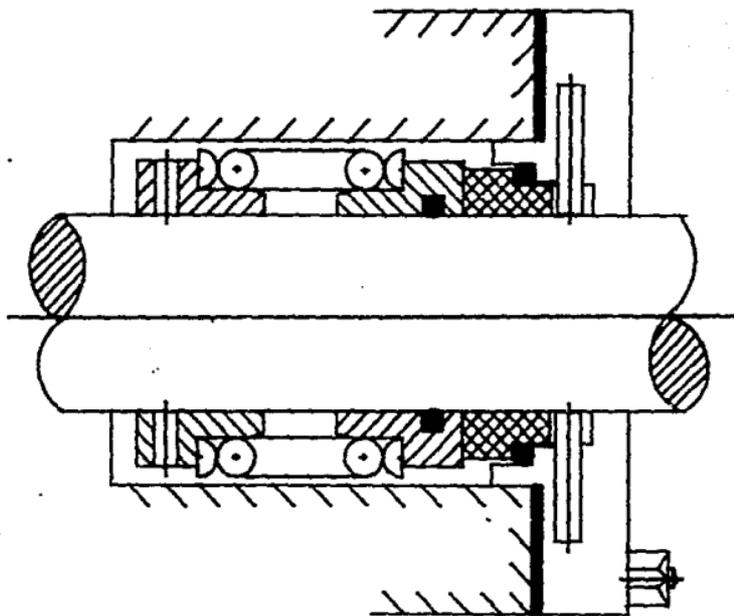
Para poder describir cada uno de ellos se necesita primero decir a que se refiere el balanceo en un sello mecánico.

El término de balanceo hidráulico en el caso de los sellos se refiere a la relación que hay entre la posición con la que se sella y la presión que se dá entre las caras de contacto.

En los dos casos el balanceado y el no balanceado, la carga inicial que tienen las caras es proporcionada por el resorte, y después el fluido va a ir actuando sobre las caras de una forma axial y se va a ir incrementando gradualmente de acuerdo a la presión del fluido.

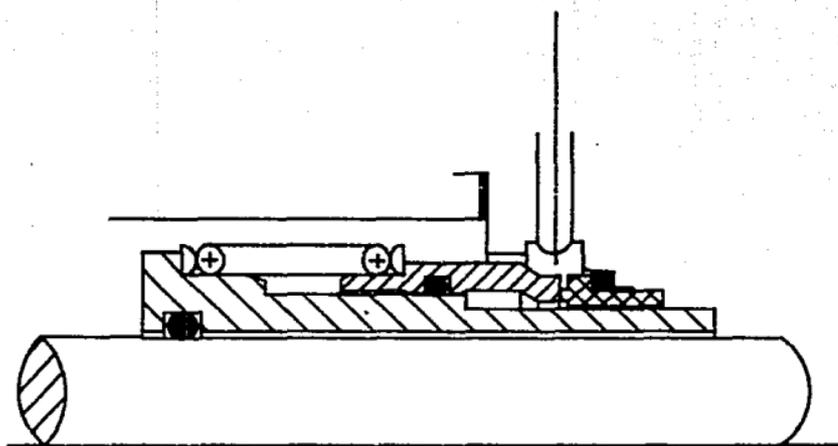
Los sellos son no balanceados cuando toda o casi toda la presión en la caja de estoperos, ejerce su fuerza a favor del cierre de las caras de contacto (fig. 14).

Los sellos mecánicos son balanceados en el caso de que se tenga un control preciso de las áreas radiales, lo cual permite que la presión de las caras de contacto sea menor a la presión de sellado, ésto permite que la capa de lubricación sea más gruesa, provocando una menor fricción y una reducción de calor, por lo que un sello de este tipo permite manejar presiones más altas;



SELLO NO BALANCEADO

Fig. 14



SELLO BALANCEADO

fig. 15

estos sellos trabajan normalmente con la presión mínima requerida para el correcto sellado (fig. 15)

En la figura las caras de contacto están representadas en un recipiente la presión "P" en el recipiente actúa en todas las direcciones, pero horizontalmente actúa sobre un área anular Ac (fig. 16).

Dada la fuerza Fc' la fuerza de cierre de las caras de contacto será:

$$F_c' = P(A_c) \text{ ----- (5)}$$

Esta fuerza dividida entre el área anular Ao nos da la presión entre el asiento y la cara rotativa

$$P_{f1} = F_c'/A_c = P(A_c')/A_o \text{ -----(6)}$$

Si la presión P es muy alta, es recomendable aligerar la presión P_{f1} en las caras. La presión "P" está dada y no puede modificarse. La alternativa es jugar con la relación de áreas de las caras.

Si Ao es constante, entonces podemos hacer más pequeña Ac por medio un escalonamiento en la flecha (fig. 17).

Lo anterior permite reducir el área Ac y consecuentemente la presión en las áreas de contacto. Por lo tanto tendremos:

BALANCED HIDRAULICO

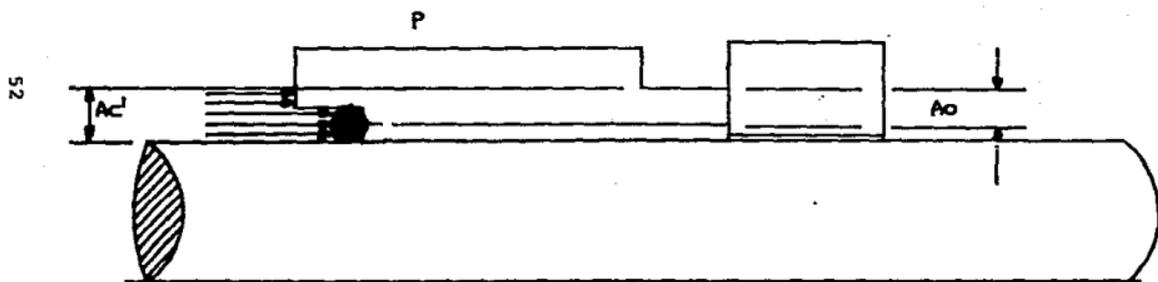
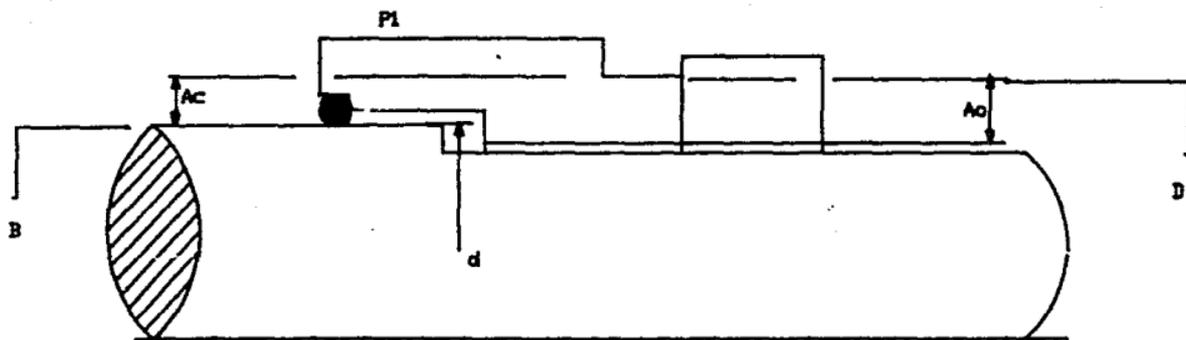


FIG 16

BALANCED HIDRAULICO



53

Fig. 17

$$Pf2 = P(Ac)/Ao \text{ menor } Pf1 \text{ ---(7)}$$

Esta operación es conocida como balance del sello y el sello se conoce como balanceado.

El balance del sello puede ahora ser definido como la razón del área de cerrado hidráulico entre el área de apertura

$$B = \frac{\text{Area de Cerrado}}{\text{Area de Apertura}} = \frac{Ac}{Ao} \text{ -----(8)}$$

Es costumbre expresarlo en porcentajes.

$$\%b = \frac{Ac}{Ao} \times 100 \text{ -----(9)}$$

Introduciendo la relación de balance, la presión efectiva en las caras de contacto, podemos expresarla como:

$$Pf = P(b - k) + Psp \text{ -----(10)}$$

en donde:

Pf = Presión efectiva en las caras de contacto

P = Diferencial de presión a ser sellada (el valor será absoluto)

b = Cantidad de balance

k = Gradiente de presión. Para efectos prácticos se considera lineal (0.5)

Psp= Presión del resorte.

Un concepto de los más importantes en la aplicación de sellos, es el valor de PV, para la cual recordaremos como base para entender su concepto que las caras de contacto se mueven una en relación a la otra.

Este valor "PV" está relacionado con la proporción de desgaste de los materiales y consecuentemente con la vida de los sellos. Un valor "PV" empíricamente considerado adecuado es el rango de 1.25×10 psi-rpm.

Específicamente para los sellos "P" puede ser considerada como la presión efectiva de las caras de sellado "Pf" y "V" es la velocidad rotacional en función del diámetro medio.

$$D_m = \frac{D + d}{2} \quad \text{-----} \quad (11)$$

$$PV = P_f V_m$$

$$PV = (P_h + P_{sp}) V_m$$

$$PV = (P(b - k) + P_{sp}) (V_m)$$

$$V_m = \frac{D_m \pi n}{12} \quad \text{-----} \quad (12)$$

La mayoría de los sellos mecánicos en base al valor PV mencionado , están diseñados para una vida de dos años (18,000 horas aprox.) en trabajo continuo, y a condiciones máximas de operación.

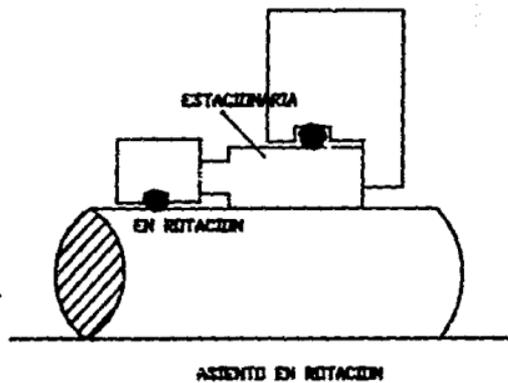
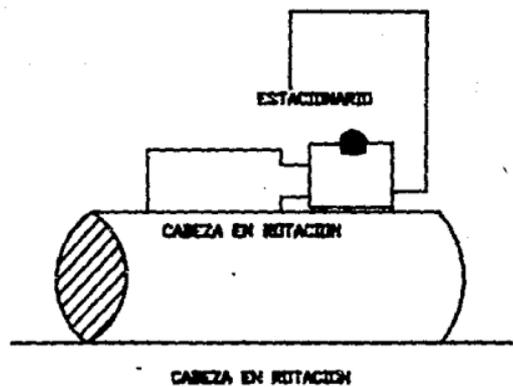
La energía generada por el sello, los requerimientos de enfriamiento para remover el calor generado por fricción en las caras de contacto, el torque de operación y arranque entre otros, se pueden determinar a partir de PV.

El diámetro de las caras de contacto es menor con respecto al diámetro de la flecha, de forma tal que la carga en la cara es menor a la ejercida por la presión del fluido manejado.

Sellos con Cabeza en Rotación y Asiento en Rotación

Esta clasificación se refiere al elemento primario que está girando, al hablar de elemento primario nos referimos a las caras de contacto; en el caso de Cabeza en Rotación estaríamos considerando la forma más común, en la que la cabeza está en movimiento, el Asiento en Rotación se usa cuando la velocidad del equipo es alta y es conveniente que el elemento que gire sea el más ligero, éstos son para casos muy específicos, generalmente se usan los de Cabeza en Rotación (fig. 18).

ARREGLO DE SELLOS MECANICOS



Sellos de Empuje, Sellos de No Empuje

Los Sellos de empuje o también llamados de Tipo Ajustable, son los que utilizan a los Anillos "O" que cuentan con un diseño sencillo, pero presentan problemas con la compatibilidad del fluido bombeado y el empaque: éstos sellos también utilizan las cuñas que son compatibles con productos químicos y tienen alta resistencia a la temperatura, dependiendo del tipo de material con que se fabriquen. Para muy altas presiones se utilizan anillos en "V", éstos ocupan grandes espacios por su tipo de arreglo y permiten el flujo en una sola dirección.

Los sellos no de empuje pueden ser de tipo Fuelle, el cual puede ser de elastómeros o goma, de teflón o de metal, según se requiera; estos sellos soportan grandes temperaturas; en este arreglo el fuelle sustituye al resorte el cual tiende a perder sus propiedades en altas temperaturas, éste sello mecánico tiene gran auge en la actualidad por su resistencia a temperaturas elevadas.

La última clasificación se refiere a los resortes, los de tipo único y los múltiples, los resortes únicos presentan una fuerte construcción por el mayor grosor de su sección, resistiendo por más tiempo la corrosión, aunque el espacio que se

SELLOS DE EMPUJE



ANILLO "O"



CUÑA



ANILLOS EN "V"

Fig. 19

SELLOS DE NO EMPUJE

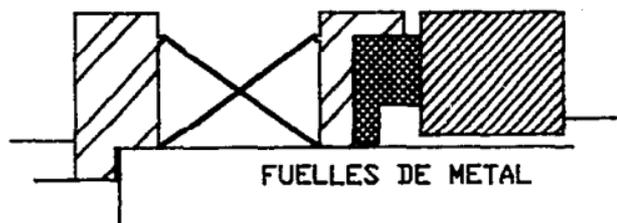
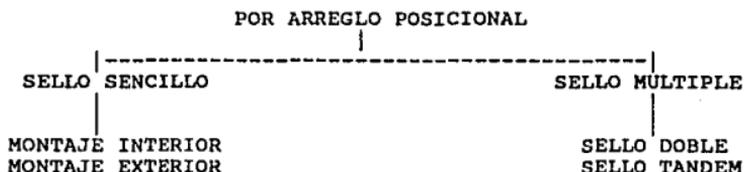


Fig. 20

requiere es más grande; los Sellos con Resorte Múltiple son prácticos debido al mínimo espacio requerido, son alambres delgados y producen una uniformidad de carga en las caras de contacto; son utilizados para altas velocidades, aunque no son recomendables para sellar fluidos con sólidos en suspensión (fig. 20).

En el segundo grupo tenemos la clasificación por arreglo posicional.



Sello Sencillo

Los sellos sencillos son los que se mencionaron en el principio del capítulo; es decir los sellos mecánicos básicos; este tipo de sellos puede ser de montaje interno (dentro del fluido), y montaje externo. En los internos, la presión del líquido manejado tiende a provocar un cierre entre las caras del sello; los externos por el contrario tienen una presión interna que trata de abrir las caras, estos sellos son útiles cuando las

presiones son muy bajas o se trabaja en vacío. En los sellos de instalación externa el resorte es el único elemento que cierra las caras de contacto y su limitante es en función a la presión (fig. 21).

Sellos Múltiples

Estos sellos son básicamente de seguridad y se clasifican en Sellos Dobles o Sellos en Serie; los dobles se utilizan para fluidos explosivos, tóxicos e inflamables y consta de dos sellos sencillos montados de una forma opuesta, es decir espalda con espalda, éstos utilizan un líquido circulante proveniente de una fuente externa; aquí el sello interno opera con la presión del fluido de la fuente exterior que es mayor que la presión del fluido bombeado, por lo tanto si se presenta una fuga, está será del fluido externo y no del fluido bombeado; es importante recalcar que los dos fluidos, tanto el externo como el bombeado deberán de ser compatibles (fig. 22).

Los Sellos en Serie o Tandem, también llamados Sellos en Bateria, son dos sellos que se encuentran en la misma disposición, pero trabajan en diferentes cámaras, a diferentes presiones, el sello primario está totalmente inmerso en el fluido, y el fluido externo está a una presión menor que la de el fluido bombeado.

SELLOS SENCILLOS

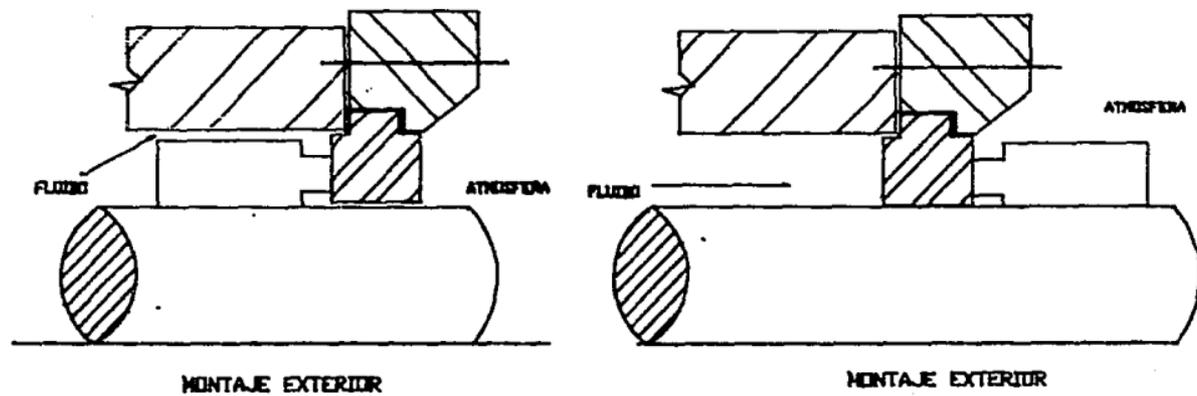


Fig 21

SELLOS MULTIPLES

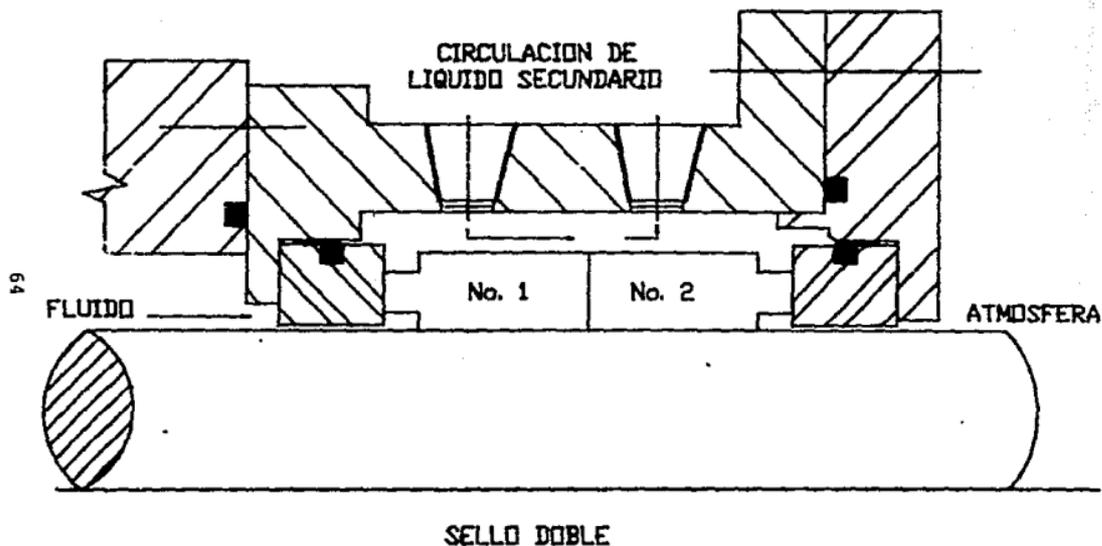


Fig. 22

Estos sellos se utilizan para equipos críticos que no pueden parar. Se tiene que aclarar que se pueden usar más de dos sellos sencillos en este arreglo (fig. 23).

SELLOS MÚLTIPLES

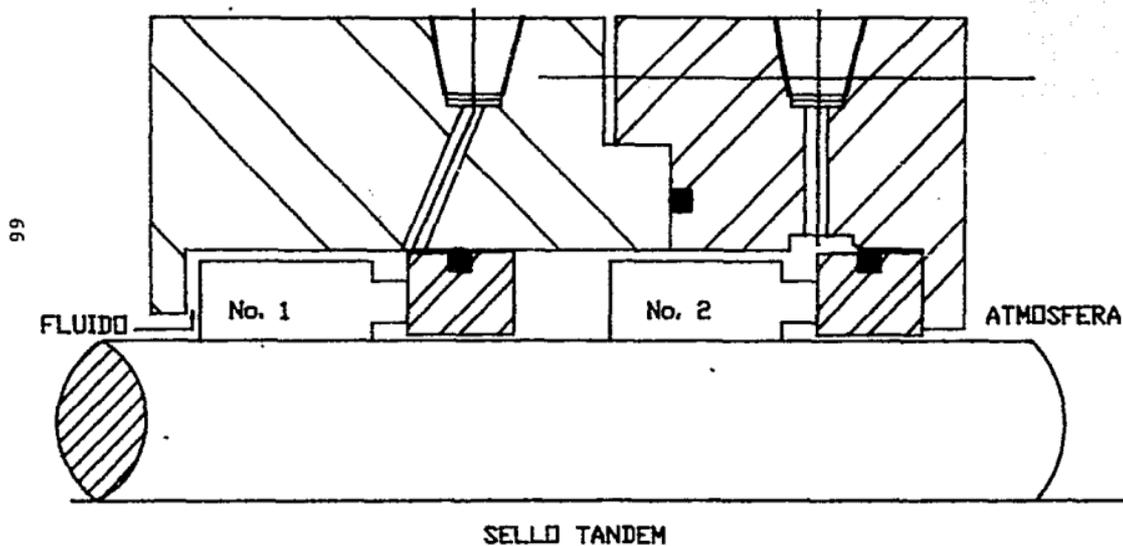


Fig. 23

2.4.- Materiales Recomendados

La temperatura es un factor importante para el buen comportamiento de un sello; por lo que los materiales deben ser seleccionados apropiadamente para resistir las temperaturas, ya sean altas o bajas.

No solo la temperatura va a darnos la pauta para la selección de los materiales, también el tipo de fluido a manejar; a continuación se mencionan en la tabla algunos de los servicios más comunes con los materiales recomendados (tabla IV).

Como se observó en la tabla, la práctica general es usar diferentes materiales en cada una de las caras de contacto de un sello mecánico, basándose en que iguales composiciones de material tienden a unirse molecularmente y crean por tanto mayor fricción.

En el trabajo dinámico de dos caras en contacto es generalmente asumido que el material de menor dureza se desgastará de inmediato, ésto no siempre es aplicable, ya que la experiencia ha enseñado que bajo ciertas condiciones de abrasión la pieza más blanda se desgasta menos; es decir que pudiera presentarse un fenómeno de lija; donde los sólidos se incrustan en el material más blando desgastando al de mayor dureza; por lo

COMBINACION DE MATERIALES USUALES
EN LAS CARAS DE CONTACTO DEL
SELLADO PRIMARIO

| APLICACION | MATERIALES RECOMENDADOS | | APLICACION | MATERIALES RECOMENDADOS | |
|----------------|--------------------------------------|----|--|-------------------------|---|
| AGUA | CARBON GRAFITO EN REVERSES BRANCE | VS | BRONCE NI-BESMET CERAMICA CARBURO SILICIO CARBONO TURBOSTENO TFE CARBON TFE BRONCE | SOLUCIONES SALINAS | COBRE GRAFITO VS CERAMICA CARBON BARRET VS ALUMINO BRONCE CARBON SILICIO |
| ACIDOS | CARBON GRAFITO EN REVERSES ESPECIALS | VS | CERAMICA STELLITE TFE CARBON HASTELLOY CARBURO SILICIO | CAUSTICOS | CARBON GRAFITO VS TFE CARBON STELLITE CARBURO TURBOSTENO CARBURO SILICIO CERAMICA |
| ACEITES | CARBON GRAFITO | VS | BRONCE NI-BESMET CERAMICA STELLITE CARBURO TURBOSTENO CARBURO SILICIO BRONCE INTERTIZAND BRONCE INTERTIZAND | GASELDA | CARBON GRAFITO VS BRONCE FUNDIDO NI-BESMET CERAMICA STELLITE TFE CARBON CARBURO TURBOSTENO CARBURO SILICIO |
| ACEITE TURBICO | BRONCE | VS | BRONCE FUNDIDO | AGUA DE MAR | COBRE BARRET VS ALUMINO BRONCE STELLITE VS BRONCE CERAMICA VS CARBONO SILICIO |
| | CARBON GRAFITO | VS | CARBURO TURBOSTENO CARBURO SILICIO | | |
| | CARBURO TURBOSTENO | VS | CARBURO SILICIO | | |

TABLA IV

tanto la dureza del material no es directamente proporcional a su resistencia al desgaste.

El uso más común en una de las caras de contacto (normalmente es el de la cara estacionaria) carbón grafito, lógicamente no siempre se utiliza la misma clase de carbón, por lo que se fabrican en grados diferentes; algunos de ellos con composición pura de carbón-grafito; y la mayoría con impregnantes de aceites, resinas sintéticas, sales inorgánicas, polímeros y muchos metalizados con cobre, plomo, antimonio, o plata, cada grado tendrá sus propias virtudes específicas para una determinada aplicación.

Cabe mencionar que se necesita que los materiales de las caras de contacto deberán tener ciertas características que los hagan efectivos para el uso que se va darles (tabla V).

Existen costos relativos entre los diferentes materiales, ésto con el fin de contemplar aspectos económicos que involucra una selección de los materiales (GRAFICA II).

PROPIEDADES DESEABLES DE LOS MATERIALES
EN LAS CARAS DEL SELLO MECANICO

QUIMICAS

INERTES Y RESISTENTES A LA
CORROSION.

TERMICAS

BAJO COEFICIENTE DE EXPANSION
ALTA CONDUCTIVIDAD TERMICA.
RESISTENCIA AL CHOQUE TERMICO.
NO AFECTARSE MAYORMENTE EN SUS
PROPIEDADES ENTRE EXTREMOS
DIFERENCIALES DE TEMPERATURA.

MECANICAS

DUREZA Y EXCELENTE RESISTENCIA
AL DESGASTE.
CARACTERISTICAS LUBRICANTES
PROPIAS EN OPERACION EN SECO.
BAJO COEFICIENTE DE FRICCIÓN.
ALTA FUERZA TENSIL.
ALTO MODULO DE ELASTICIDAD.

ADICIONALES

ESTABILIDAD DIMENSIONAL.
FACIL MANUFACTURA Y MAQUINADO.
PRECIO RAZONABLE.
HABILITACION RAPIDA.

TABLA V

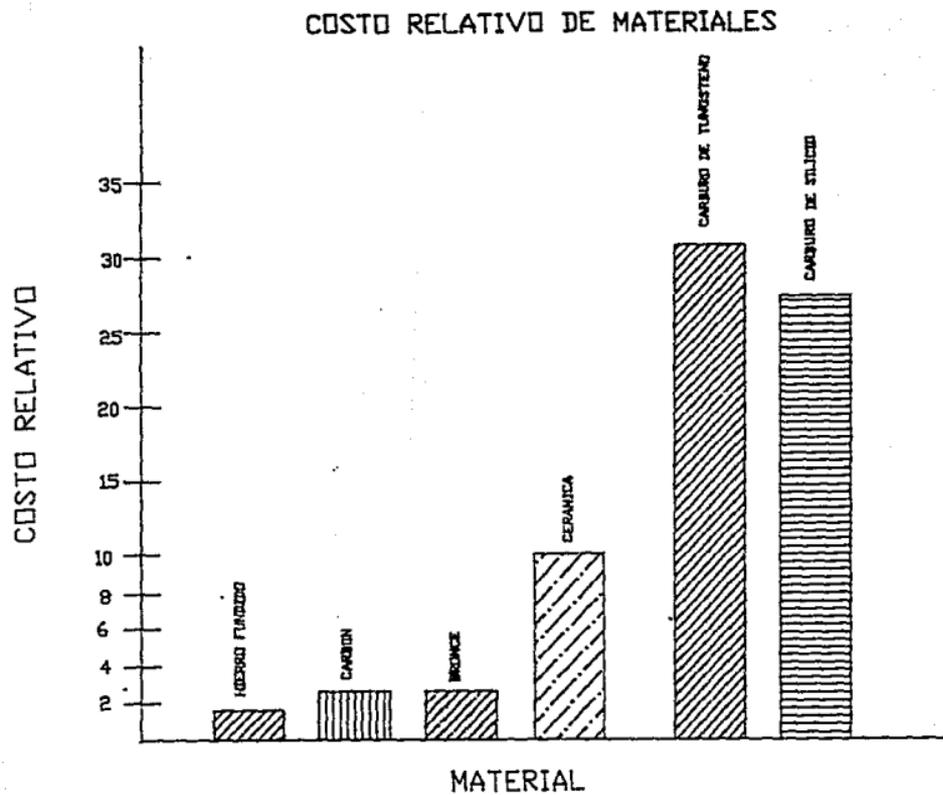


DIAGRAMA I

2.5.- Clasificación de Sellos Mecánicos según API 610

Una vez conocida la generalidad de un sello mecánico y para estandarizar el criterio cabe aclarar que en el API 610 existe un código de clasificación para los Sellos Mecánicos y consta de varias letras.

PRIMERA LETRA.- Se refiere al balanceo del sello, la letra (B) corresponde a balanceado, y la letra (U) al no balanceado.

SEGUNDA LETRA.- Esta tiene los siguientes códigos:

(S) Sello Sencillo

(D) Sello Doble

(T) Sello Tandem

TERCERA LETRA.- Esta nos dá opción a los diferentes tipos de bridas para la circulación.

P = Brida Plana Simple

T = Buje antichispa en la Brida

A = Elemento Auxiliar del Sellado.

CUARTA LETRA.- Nos clasifica a los empaques (tabla VI).

QUINTA LETRA.- Nos muestra el material de las caras de contacto (tabla VI).

Por ejemplo con un código (API 610) BSTEL, se refiere a un sello balanceado, sencillo, con buje antichispa en la brida, con elastómeros (vitón) en el empaque del sello estacionario y PTFE (teflón) en los empaques del rotatorio y la camisa; para las caras de contacto el material es de carbon contra carburo de tungsteno. Para los demás componentes se usa X, es decir un material por especificar.

CODIGO API 610

SELLOS MECANICOS

| | |
|---------------|--|
| PRIMERA LETRA | BALANCEADO O NO BALANCEADO B= BALANCEADO U= NO BALANCEADO |
| SEGUNDA LETRA | SENCILLO, DOBLE O TANDEM S= SENCILLO D= DOBLE T= TANDEM |
| TERCERA LETRA | CARACTERISTICAS DE LA BRIDA P= BRIDA PLANA SIMPLE T = BUJE ANTICHISPA EN LA BRIDA A= ELEMENTO AUXILIAR DE SELLADO |
| CUARTA LETRA | SELLOS SECUNDARIOS E= VITON/TEFLON F= VITON/VITON G= TEFLON/TEFLON H= NITRILO/NITRILO I= KALREZ/KALREZ R= GRAFITO/GRAFITO X= SEGUN ESPECIFICACION |
| QUINTA LETRA | J= CARBON/STELLITE K= CARBON/NI-RESIST L= CARBON/CARBURO TUNGSTEND 1 M= CARBON/CARBURO TUNGSTEND 2 N= CARBON/CARBURO SILICIO X= SEGUN ESPECIFICACION |

TABLA V, I

III.- SELECCION DE SELLOS MECANICOS

3.1.- Condiciones de Operación

Para poder hacer una selección óptima de algún sello mecánico para una aplicación específica, deben de conocerse una serie de condiciones como las del equipo con el que se va a trabajar, así como las características del fluido a sellar y el diseño del mismo sello.

A continuación se darán una serie de condiciones que se deberán conocer para poder garantizar una selección adecuada del tipo de sello mecánico:

- 1.- Nombre del fluido, composición química y concentración del mismo.
- 2.- Saber si se encuentran sólidos en suspensión dentro del líquido de bombeo, ya que si existen, éstos crearán problemas que pueden ocasionar la falla del sello.
- 3.- En el caso de tratarse de un fluido sucio o abrasivo, es importante saber el tamaño de los sólidos, su gravedad específica, porcentaje de los sólidos dentro del fluido.
- 4.- Saber si el fluido es peligroso es decir tóxico, inflamable flamable, explosivo, corrosivo.
- 5.- Gravedad específica del fluido a las condiciones de bombeo.
- 6.- Temperatura del fluido a las condiciones de operación.

- 7.- Viscosidad del fluido a las condiciones de bombeo.
- 8.- Punto de ebullición del fluido a la presión en la caja de estoperos.
- 9.- Punto de congelación del fluido.
- 10.- Presión del fluido en la caja de estoperos.
- 11.- Presión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo.

En cuanto a las características del equipo se deberá conocer lo siguiente:

- 1.- Modelo
- 2.- Tipo
- 3.- Tamaño
- 4.- Número de Serie
- 5.- Montaje de la carcasa horizontal o vertical.
- 6.- Número de pasos o número de impulsores
- 7.- Número de cajas de estopero por bomba
- 8.- Presión de succión de la Bomba
- 9.- Presión de descarga de la bomba
- 10.- Presión en la caja de estoperos de la bomba
- 11.- Dimensiones generales de la caja de estoperos, entre las que se cuentan el número de birlos, localización de éstos, su diámetro, distancia al centro de los barrenos, localización adecuada para la conexión de sistemas auxiliares como lavado, enfriamiento, venteo y drenado (fig. 22).

DIMENSIONES GENERALES DE
LA CAJA DE ESTOPEROS

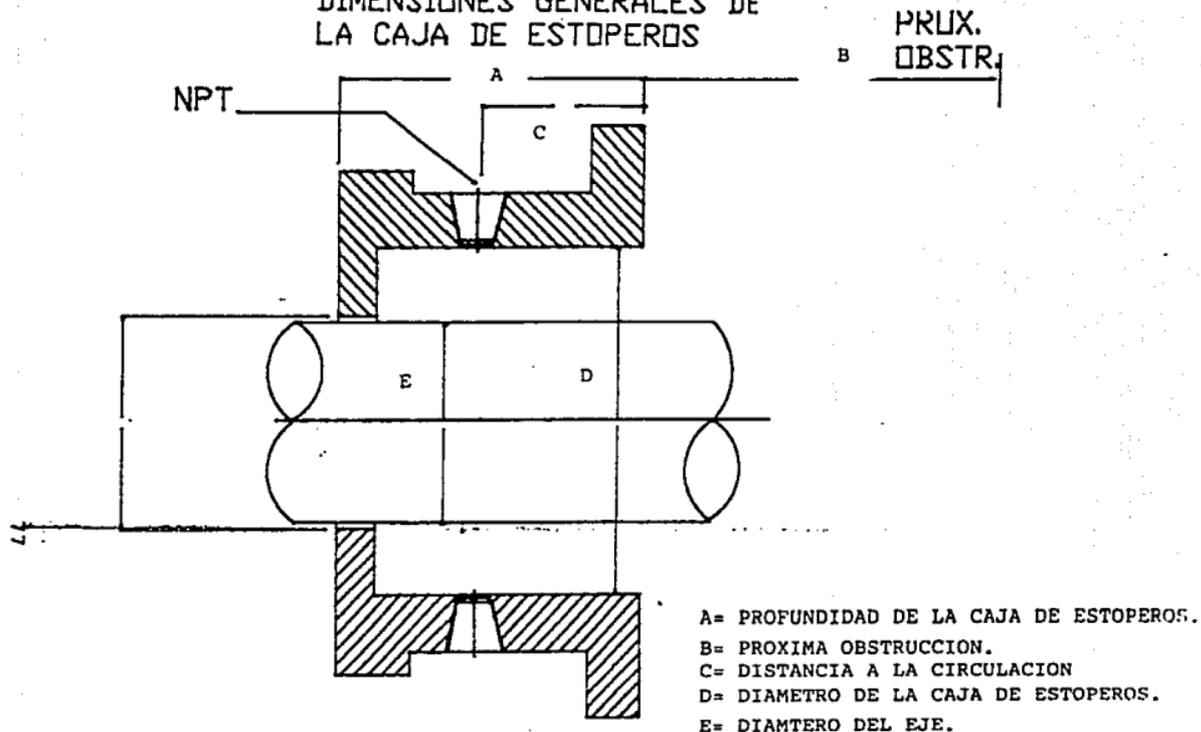


Fig. 24

3.2.- Parámetros de Selección

Aunado a los datos generales del tipo de fluido a manejar y el equipo a sellar, una selección deberá tomar en cuenta algunos parámetros que a continuación se enumeran:

I.- Presión de Sellado

Al hablar de presión de sellado nos referimos a la presión a la que se encuentra trabajando el sello mecánico dentro de la caja de estoperos.

Con la presión de sellado puede ser determinado el balanceo del sello que requerimos para cierta aplicación, es decir si el sello deberá ser balanceado o no balanceado. La siguiente tabla nos muestra los criterios a seguir, según sea nuestra presión de sellado (tabla VII).

Una gran cantidad de equipos a sellar caen en el rango de vacío (entiéndase vacío como una presión abajo de la atmosférica) a 10 Bar, por lo que es frecuente seleccionar un sello no balanceado, sin embargo es importante verificar el factor de "PV" el cual veremos más adelante. También en el caso de seleccionar un sello para presiones mayores (sello balanceado) deberá tomarse en cuenta el valor "PV" será más alto, lo cual indica que se va a generar una gran cantidad de calor entre las caras de contacto,

PRESION DE SELLADO

| PRESION EN LA CAJA DEL SELLO | RECOMENDACION | NOTAS |
|--------------------------------------|--|---------------------------|
| Vacio a 10 Bar (Vacio a 150 Pstg) | SELLO NO BALANCEADO | CONFIRME VALOR "PV" |
| Vacio a 85 Bar (A 1250 Pstg) | SELLO BALANCEADO | EVITE VARIACIONES BRUSCAS |
| Mayor de 85 Bar | SELLO BALANCEADO PROBABLE DISEÑO ESPECIAL | CONFIRME CON FABRICANTE |

TABLA VII

ESTA TESIS HA DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

dicho calor necesita forzosamente ser disipado para evitar la vaporización en las caras (conocido como flasheo) .

Otro factor a considerar en cuanto a la presión es el hecho de que en algunas ocasiones se requiere aumentar la presión en la cámara del sello para aumentar a su vez el punto de ebullición del fluido, evitando el fenómeno de la vaporización. Una presión muy alta deberá ser sellada con un diseño especial de sello mecánico. Las altas presiones pueden provocar deformaciones en las partes que componen a un sello mecánico.

II.- Temperatura

Es factor necesario conocer la temperatura a la que nuestro dispositivo de sellado va a funcionar, ésto con el fin de saber los materiales que se van a utilizar, así como la ambientación necesaria.

Este punto está referido a los rangos de temperatura que pueden soportar los diferentes materiales que constituyen a un sello mecánico, principalmente los del sellado secundario (tabla VIII).

Esta tabla únicamente contempla a los tipos de empaquetadura más comerciales, habiéndolo un sin fin de ellos con diversas características.

Es necesario para una buena selección de empaquetaduras saber algunos de los problemas que pueden presentarse en casos de condiciones extremas de temperatura; por ejemplo los elastómeros pierden su flexibilidad a bajas temperaturas y se van degradando gradualmente con altas temperaturas.

No solo la selección correcta de una empaquetadura es necesaria para que un sello mecánico trabaje en condiciones óptimas; también influye un adecuada ambientación del mismo, es decir que nosotros podemos modificar los parámetros del fluido a sellar utilizando además equipos adicionales tal como cambiadores de calor hablando específicamente de temperatura.

Existen en la actualidad algunos diseños especiales de sellos mecánicos para altas temperaturas como el caso del sello mecánico tipo fuele, en el cual como su nombre lo indica un fuele substituye al resorte (el resorte tiende a perder sus propiedades a altas temperaturas). En este caso todos los materiales que componen al sello deberán de cumplir con ciertas características en cuanto a sus limites de temperatura.

Los materiales en las caras de contacto así como en los demás accesorios que pudieran utilizarse para el sello mecánico también deberán ser estudiados detenidamente para verificar su comportamiento en altas y bajas temperaturas.

RANGOS DE TEMPERATURA QUE
SOPORTAN LOS EMPAQUES

| MATERIAL EMPAQUE | TEMPERATURA °C | |
|------------------|----------------|--------|
| | MIN | MAX |
| NITRILO | -30 | 120 |
| BUNA-N | -50 | 130 |
| VITON | -30 | 200 |
| TEFLON | -100 | 250 |
| POLIMEROS AT | -100 | 325 |
| ASBESTO | -100 | 400+ |
| GRAFITO PURO | -200 | 3000 * |

* MAXIMO 500 °C EN MEDIO OXIDANTE

TABLA VIII

III.- Velocidad

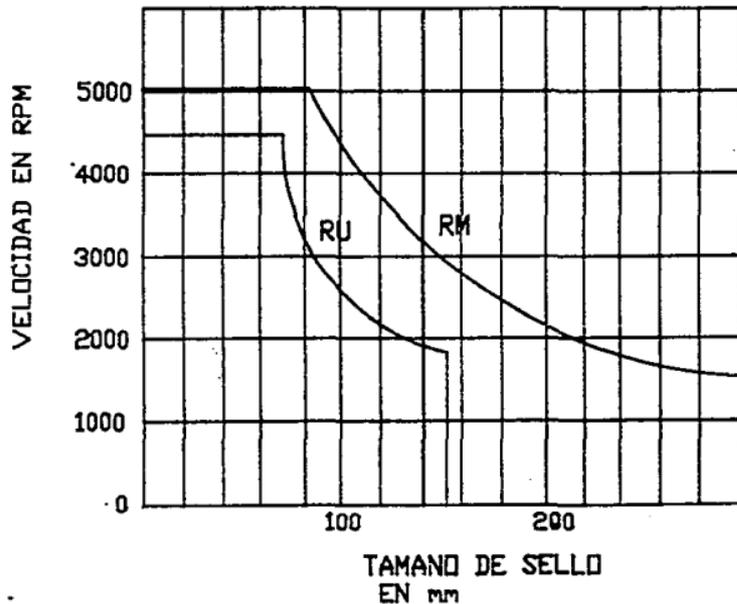
Otro criterio más a contemplar es la velocidad a la que nuestro sello mecánico va a funcionar. Este punto también lleva una relación estrecha con el factor PV, es decir que a mayor velocidad nuestro factor PV se incrementa lo cual nos provoca una mayor generación de calor entre las caras de contacto. Como ya se mencionó antes se debe garantizar que el sello mecánico tenga siempre una película de lubricación la cual tendería a centrifugarse en altas velocidades, reduciendo la vida del sello; y para el caso extremo de baja velocidad se deberá diseñar un sello que evite la posibilidad de un trabajo en seco.

Las velocidades también puede llegar a afectar al resorte, por lo que en seguida se muestra un diagrama de los tipos de resortes a utilizar para diversas velocidades (Diagrama I).

IV.- Gravedad específica

La gravedad específica es otra condición que al igual que las demás va a llevarnos a encontrar el tipo de sello mecánico a seleccionar. Para este caso también existen unos rangos a contemplar para determinar si el sello que se requiere es de tipo balanceado o no balanceado (tabla IX).

RELACION VELOCIDAD TAMAÑO
DEL SELLO MECANICO



RU= RESORTE UNICO
RM= RESORTE MULTIPLE

DIAGRAMA II

GRAVEDAD ESPECIFICA

| GRAVEDAD ESPECIFICA | ESPECIFICACION |
|---------------------|---------------------------|
| 0.85 A 0.65 | SELLO BALANCEADO |
| ARRIBA DE 0.85 | SELLO NO BALANCEADO |
| MENOR A 0.65 | SELLO DE DISEÑO ESPECIAL. |

TABLA IX

Cuando un fluido tiene una gravedad específica baja lo que se recomienda es utilizar un sello mecánico de tipo balanceado con algunas características especiales como el caso de reducir las pistas de contacto para garantizar que aún cuando se tenga una gravedad específica baja y el fluido tienda a centrifugarse se pueda asegurar la existencia de una película de lubricación.

V.- Factor "PV"

El factor "PV" nos relaciona la presión entre el área de sellado y la velocidad periférica del sello mecánico, aparte nos definirá los límites prácticos de aplicación de sellos mecánicos y el tiempo de vida de éstos.

Pueden ser definidos a partir del factor "PV", la energía generada por el sello, los requerimientos de enfriamiento para remover el calor generado por fricción entre las carcasa de contacto y el torque de operación y arranque.

Y se define con la siguiente fórmula:

$$PV = (\text{barm/s}) = P (\text{bar}) \times \frac{\text{dia sello}}{1000} (\text{mm}) \times 3.1416 \times \frac{\text{rpm}}{60} \quad \text{---(13)}$$

Donde:

P = Presión del líquido en la zona del sellado

1 BAR = 1 ATM = 1.033 kg/cm² = 14.7 lb/in²

El factor PV se utiliza también para determinar el material de las caras de contacto (tabla X).

| MATERIAL CARAS DE CONTACTO ROTATORIO/ ESTACIONARIO | LIMITE PV MATERIALES CARAS DE CONTACTO EN BAR M/S | | | |
|--|---|------------|---------------|------------|
| | AGUA Y SOLUCIONES ACUOSAS | | OTROS FLUIDOS | |
| | NO BALANCEADO | BALANCEADO | NO BALANCEADO | BALANCEADO |
| ACERO INOX/CARBON | 5.5 | — | 30 | — |
| BRONCE/CARBON | 23 | — | 36 | — |
| ESTELLITE/CARBON | 23 | 85 | 52 | 580 |
| CERAMICA/CARBON | 36 | 210 | 88 | 420 |
| CARBURO TUNGSTENO/ CARBURD TUNGSTENO | 44 | 260 | 71 | 420 |
| CARBURO TUNGSTENO/ CARBON | 70 | 420 | 88 | 1225 |

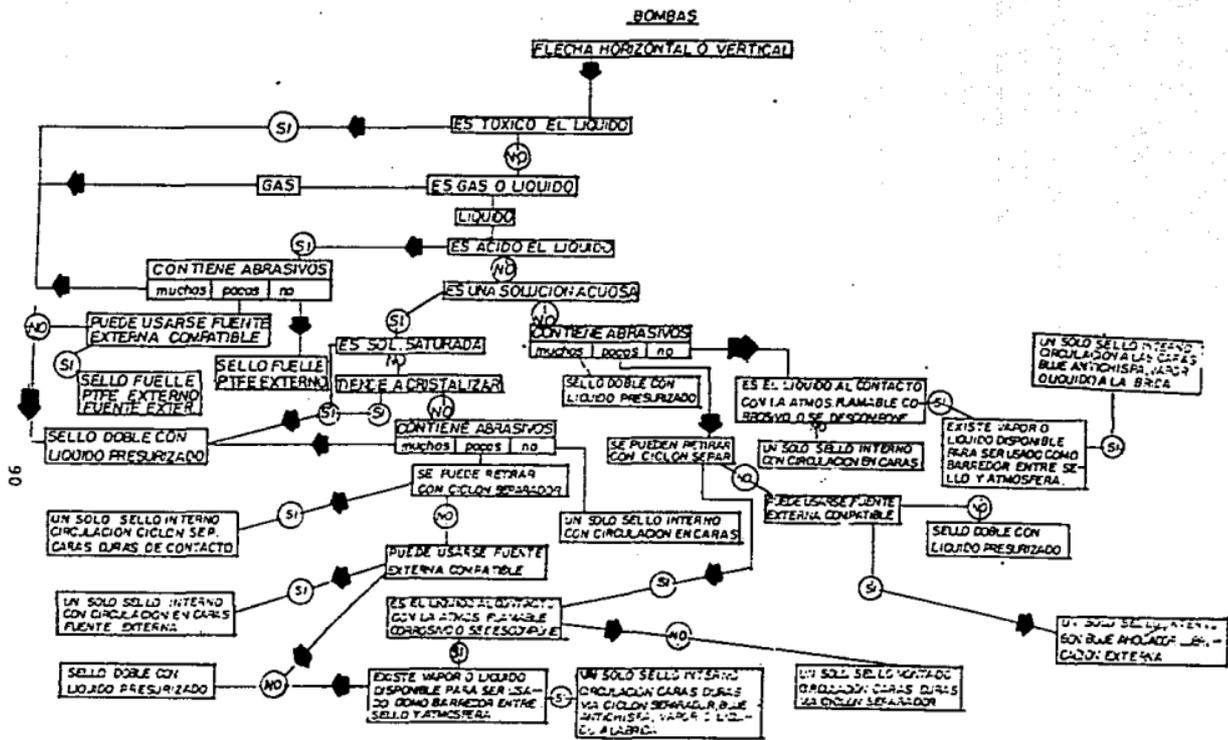
TABLA X

4.3.- Diagramas de Selección

Una vez conocidas todas las condiciones de operación y los parámetros de selección diremos que existen varias formas para llegar a una mejor selección del sello mecánico, para alguna aplicación dada, pero todas deberán de satisfacer una serie de condiciones como facilidad de instalación, confiabilidad, durabilidad, buen precio, servicio, existencia de refacciones, asistencia técnica, etc.

La guía de selección de sellos mecánicos (tabla XI) nos muestra las diferentes opciones a la que se puede llegar según sea el tipo de fluido a manejar y está aplicado a bombas de tipo vertical y horizontal cualquiera que sea su tipo.

La guía abarca a todos los tipos de sellos mecánicos que hay en el mercado, pero para fines del proyecto lo canalizaremos a una sola selección misma que se analizará en el siguiente punto.



GUIA PARA SELECCION DE SELLOS MECANICOS
TABLA XI

3.5.- Sellos Mecánicos en Servicio Abrasivo

Los sellos mecánicos en servicio abrasivo forman una parte importante en la guía de selección, ya que el análisis de este tipo de problema nos llevará a una opción adecuada.

Los sellos mecánicos en servicio abrasivo contemplan una pequeña parte de todos los diferentes tipos de servicios que existen en la actualidad dentro de la industria. Dicho servicio no solo requiere de un tipo de material en específico para sus caras de contacto, sino que también necesita una ambientación adecuada para el sello mecánico.

Uno de los enemigos principales de los sellos mecánicos son los abrasivos, lo cual ha llevado a los fabricantes de sellos a analizar el problema más a fondo y encontrar soluciones que los lleven a dar una serie de recomendaciones específicas.

Para combatir una condición abrasiva, debe conocerse ante todo el origen del abrasivo; y éste puede ser de tres tipos diferentes:

1.- **Térmico:** Este fenómeno se presenta cuando ciertos líquidos tienden a cristalizarse cuando varían las condiciones de temperatura a los que son operados; tal es el caso del nitrato de amonio el cual va a formar cristales abrasivos en las caras, si

la temperatura que los mantiene en solución no se controla.

2.-Contacto Atmosférico: Este punto se refiere a las sustancias que tienden a cristalizarse al contacto con la atmósfera; es decir crean depósitos abrasivos o forman estructuras cristalinas; por ejemplo el Agua tratada con cromatos, así como jarabes de azúcar.

3.- Inherente: En este caso nos referimos a los abrasivos que son parte propia del fluido operante como el Agua arenosa, lodos o soluciones sobresaturadas con cristales en suspensión.

Una vez conocido el tipo de abrasivo al que nos estamos enfrentando, es importante también conocer el tamaño del sólido en suspensión. Las investigaciones han demostrado que cuando las caras de contacto se mueven una en relación con la otra formando una película de lubricación; dicha película varía de 1 a 5 micrones, por lo que las partículas abrasivas que estén en este orden pueden ocasionar por la acción cortante que ejercen el desgaste prematuro de las caras de contacto o en el peor de los casos, la falla total del sello mecánico.

Cabe aclarar que no existe una solución específica para el manejo de abrasivos, sin embargo si se cuenta con la información del fluido mínima necesaria, entonces se podrá hacer un balance

adecuado y así determinar una solución no solo correcta sino también económica.

En el caso de que nuestro fluido fuera con abrasivos de tipo térmico, la solución sería que se mantuviera una cierta temperatura de tal magnitud que impida que el fluido a manejar se cristalice, una de las formas de lograrlo es haciendo circular vapor por las chaquetas de la caja del sellado o bien usar elementos de calentamiento eléctrico.

Para el segundo caso en el que los fluidos se cristalizan al contacto con la atmósfera, la solución lógica es mantener al fluido fuera de la atmósfera y esto se puede lograr haciendo un arreglo de sello en Tandem en donde se logra una zona de líquido barrera que no permite el paso del fluido bombeado a la atmósfera; otra solución más práctica y a la vez más económica, sería la de un sello sencillo con la brida tipo "QUENCH" para bombear un líquido de fuente externa y aparte un sello adicional al fondo de la brida (fig. 25).

En cuanto a la condición abrasiva inherente se puede contrarrestar inyectando un líquido compatible limpio, sobre las caras de contacto. Esto causará una dilución del producto manejado y para minimizarla se instalará un buje de restricción

SELLO TIPO TANDEM PARA
SERVICIO ABRASIVO

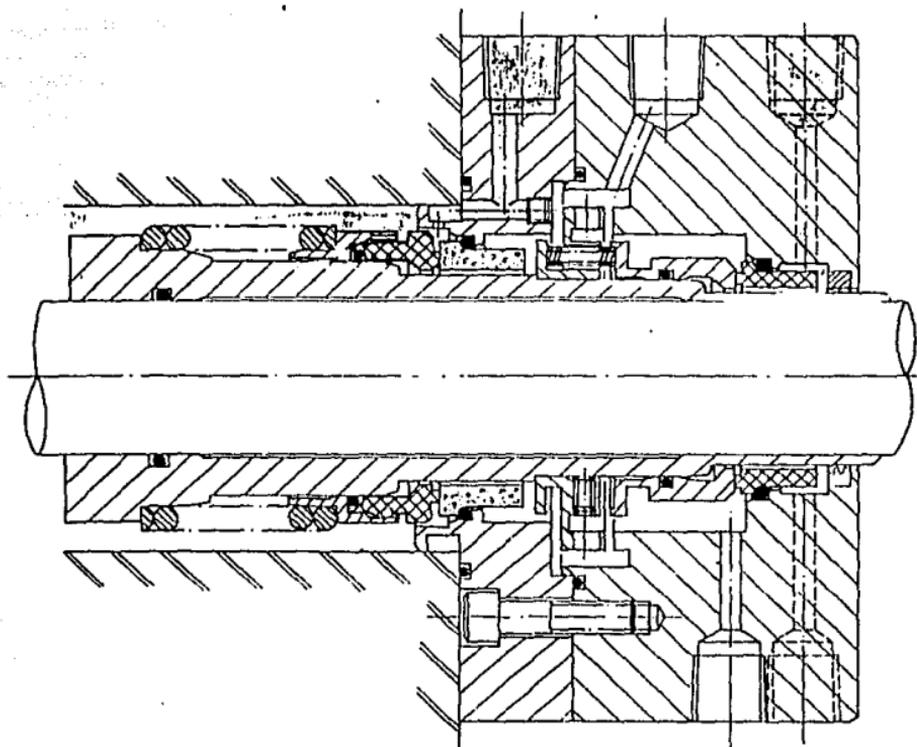


Fig. 25

en el fondo de la caja; el líquido secundario deberá estar a una mayor presión que el fluido abrasivo manejado, por lo que lo mantendrá alejado de las caras de contacto, esta solución es en caso de que se permita la dilución, en el caso contrario se recomienda un arreglo tipo Doble, en donde se tenga una recirculación del líquido secundario a mayor presión (fig. 26).

Si los abrasivos inherentes del fluido no están en un alto porcentaje y tienen un mayor peso que el fluido que los contiene, la solución óptima es utilizar un separador ciclónico. Este tipo de arreglo es de la siguiente forma; se toma el fluido de la zona de descarga de la bomba entrando al separador, de la misma forma se inyecta al separador un líquido limpio; la descarga de sólidos del separador se retorna a la bomba para no tener desperdicios (fig. 27).

SELLO TIPO DOBLE PARA
SERVICIO ABRASIVO .

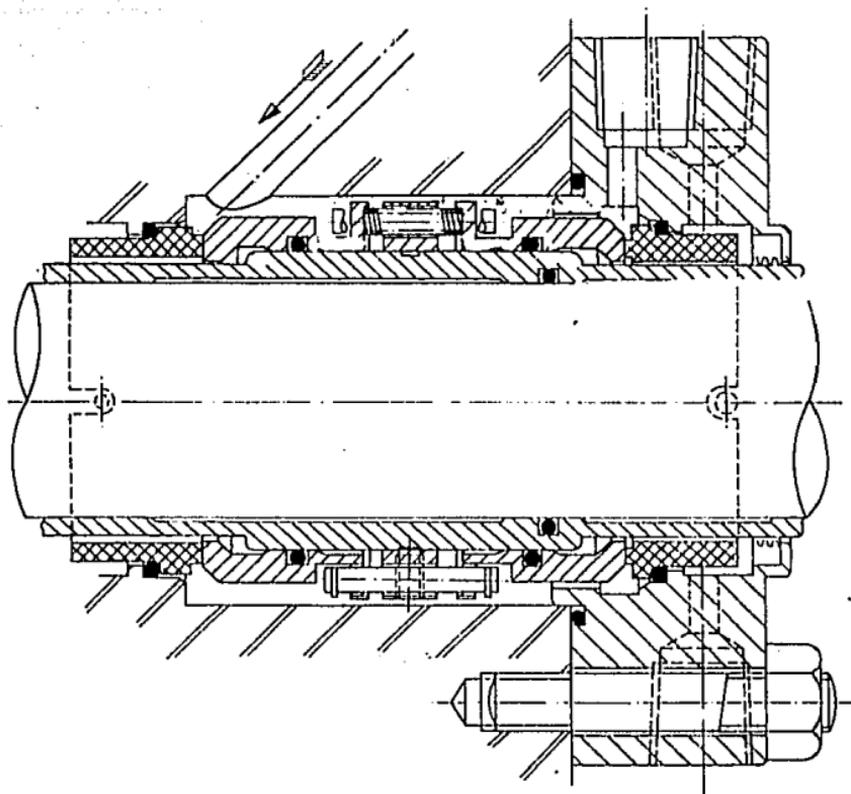


Fig. 26

SEPARADOR CICLONICO

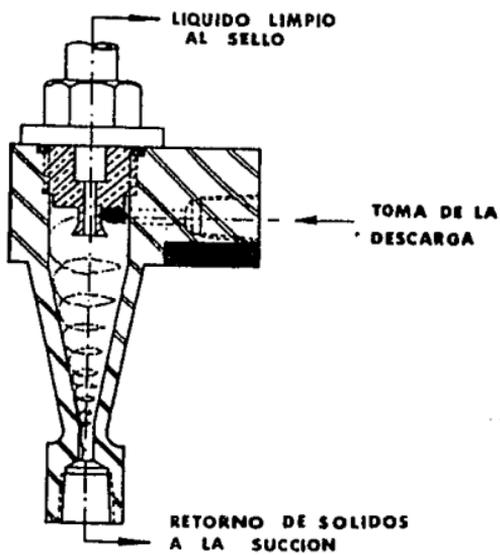


Fig. 27

CONCLUSIONES

Cualquier tipo de Sello Mecánico por lo que se pudo observar a través de todo el proyecto es un producto de alta calidad, por lo que cada caso deberá ser estudiado y analizado en particular desde diversos puntos de vista.

Las innovaciones radicales serán probablemente muy pocas, sin embargo el avance ha sido a la par con los diversos productos y equipos a sellar.

Existe aún mucho que conocer sobre los sellos mecánicos sobre todo el llegar a tener un conocimiento más profundo del fenómeno que ocurre entre las caras de contacto, entre tanto la demanda de sellar extremas temperaturas y presiones en medios tóxicos o corrosivos por mencionar algunos aumenta día con día.

Las muchas variables de diseño, selección, funcionamiento, ambientación, etc. de un Sello Mecánico deberán siempre estar en armonía para producir un éxito final.

Cabe mencionar que no solamente se debe tener un criterio de ingeniería también deberá hacerse un balance económico del Sello mecánico que finalmente arrojará la mejor selección no solo

técnico sino de costos.

Parte importante de un Sello Mecánico es el tipo de material con el que se fabrica, por lo que para el caso concreto del carbón también se ha tenido un desarrollo constante que brinda cada vez mayores oportunidades para la correcta operación y mínimo desgaste de las caras de contacto.

Las ventajas que nos presenta un sello mecánico son las siguientes:

-La fuga es mínima (la relación de fuga entre una empaquetadura y un sello mecánico es de 800 a 1). El promedio de goteo para la empaquetadura es de 1500 gotas por hora; mientras que el promedio de gotas por hora para el sello mecánico solo es de 1.88, lo cual lo convierte en la mejor selección.

-El tiempo de vida de un sello mecánico es de aproximadamente dos años en las condiciones para las que haya sido diseñado.

-Por su tipo de arreglo protege al eje del desgaste.

-Proporciona una mayor seguridad en aplicaciones severas.

-Sus aplicaciones son específicas.

En cuanto a su precio varía dependiendo de los materiales con los que esté construido, así como el tamaño y las partes que lo componen.

BIBLIOGRAFIA

- MECANICA DE FLUIDOS

Frank M. White

Mc. graw Hill

- FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA

Gordon J. Van Wylen

Richard E. Sonntag

Limusa

- TRANSEFERENCIA DE CALOR

B.V. Karlekar

R.M. Desmond

Interamericana

- DISPOSITIVOS DE SELLADO INDUSTRIAL

Raymundo J. Rodriguez.

John Crane

- PROGRAMA DE CAPACITACION

Flexibox, S.A.

México

- SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Curso Básico

ANIBI, A.C.

- SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS
Curso II. Selección
ANIBI, A.C.

- INDUSTRIAL SEALING TECHNOLOGY
H. Hugo Buchter

- ENGINEERED FLUID SEALING
Jonh Crane Houdaille

- MANUAL DEL INGENIERO MECANICO
Teodor Baumeister
Eugene Avallone
Mc. Graw Hill

- NORMAS API 610 (American Petroleum Institute)

- EMPAQUETADURAS Y SELLOS MECANICOS
SUMINISTROS EXACTOS NACIONALES, S.A. DE C.V.

- MANUAL DE FORMULAS TECNICAS
Kurt Gleck
Ediciones Alfaomega