



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
POSTGRADO DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO

Estudio de Fallas en Componentes  
de Equipos Rotativos

[WWW.BDIGITAL.ULA.VE](http://WWW.BDIGITAL.ULA.VE)

ING. PAUL ABREU R.

ING. PEDRO RODRIGUEZ T.

MERIDA, OCTUBRE 1993

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

## CONTENIDO

	<u>Pág</u>
<b>INTRODUCCION</b> .....	01
<b>I. BOMBAS</b> .....	04
1.1 Bombas Centrífugas.....	08
1.2 Bombas de Desplazamiento.....	10
<b>II. SELLOS MECANICOS</b> .....	12
2.1 Sello Mecánico.....	12
2.2 Elementos del Sello Mecánico.....	13
2.3 Clasificación de los Sellos Mecánicos.....	16
2.4 Métodos de Enfriamiento de los Sellos Mecánicos.....	25
2.5 Montaje de los Sellos Mecánicos.....	27
2.6 Fallas en Sellos Mecánicos.....	37
2.7 Metodología para el Análisis de Fallas.....	38
<b>III. EMPAQUETADURAS</b> .....	41
3.1 Clasificación de las Empaquetaduras.....	43
3.2 Selección de Empaquetaduras.....	57
3.3 Causas y Soluciones en Problemas Típicos de Empaquetaduras....	60
<b>IV. RODAMIENTOS</b> .....	64
4.1 Principales tipos de Rodamientos.....	67
4.2 Rodamientos de Bolas.....	68
4.3 Rodamientos de Rodillos.....	69
4.4 Rodamientos de Empuje.....	70
4.5 Selección de un Rodamiento de Bolas o Rodillos.....	71
4.6 Duración, carga y relaciones de velocidad de los Rodamientos.....	71
4.7 Definiciones.....	72
4.8 Protecciones para Rodamientos.....	74
4.9 Lubricación.....	74
4.10 Consideraciones en el Montaje de Rodamientos.....	76
4.11 Detección de defectos en Rodamientos.....	78
<b>V. COJINETES DE DESLIZAMIENTO</b> .....	93
5.1 Tipos de Cojinetes de Deslizamiento.....	93
5.2 Tipos de Fallas en Cojinetes.....	94
<b>CONCLUSIONES</b> .....	102
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	103
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	104
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	105
<b>ANEXOS</b> .....	106
1.- Selección de Elastómeros.....	107
2.- Planes API para instalación de Sellos Mecánicos.....	109
3.- Fallas comunes en las caras de Sellos Mecánicos.....	112
4.- Diferentes tipos de Empaquetaduras.....	115

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

## RESUMEN

La Refinería Puerto La Cruz tiene en sus instalaciones aproximadamente 1035 equipos rotativos (Bombas, Turbinas, Motores Eléctricos, Compresores, etc.), distribuidos en todas sus áreas operacionales.

Son usuales las fallas por fatiga de elementos y partes que componen un equipo rotativo, debido a que durante su funcionamiento se generan fuerzas que varían de magnitud, dirección y sentido. Esto significa que las fallas en equipos rotativos siempre van a estar presentes, pero se deben controlar mediante la aplicación de un efectivo mantenimiento predictivo (para el caso de fallas predecibles) y preventivo, para las fallas cíclicas (como ocurre en los sellos mecánicos).

Las estadísticas llevadas en Refinería por el Departamento de Mantenimiento Preventivo, muestran que mensualmente ocurren aproximadamente 30 fallas en equipos rotativos. Los componentes de estos equipos con mayor índice de falla son los sellos mecánicos, rodamientos, cojinetes de deslizamiento y empaquetaduras, de allí la importancia de efectuar un estudio de fallas que permitan su identificación y corrección inmediata, ya que, estos componentes aparte de ser muy costosos, entra en juego también la seguridad del personal y las instalaciones, que dependen de la prontitud con que se tomen las decisiones y de igual forma, la disponibilidad y confiabilidad del equipo para la productividad de las plantas de proceso.

El alcance del trabajo se concretará al estudio de fallas a partir de síntomas observados en sellos mecánicos, empaquetaduras, rodamientos y cojinetes de deslizamiento, debido a que los índices muestran mayor número de fallas en estos componentes.

La implementación de esta herramienta permitirá el desarrollo de la capacidad técnica-analítica del personal en la identificación de fallas, así como también la disminución en la recurrencia de fallas en equipos rotativos, lográndose cuantiosos ahorros en la gestión de mantenimiento.

## DEDICATORIA

*A Dios Todopoderoso*

*A mi esposa Lisbeth*

*A mis hijos Jean Paúl y Paúl José  
Paúl*

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

*A mis Padres*

*A mi esposa Estrella*

*A mi hija Verónica  
Pedro*

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos dar las gracias al Prof. Ing. Omar Marín, por su desinteresada colaboración, por su guía acertada y sus excelentes enseñanzas.

A nuestro tutor industrial Pier Cinefra, por su apoyo continuo durante la ejecución de este proyecto.

A nuestros compañeros de clases, sin duda la unión y el trabajo en equipo fueron las herramientas fundamentales para la cristalización de esta exigente meta que se inició hace dos años y nos compromete a ser cada vez mejores.

A nuestra empresa CORPOVEN, S.A., por la confianza depositada en nosotros al nominarnos como participantes en este primer Postgrado de Ingeniería en Mantenimiento, a la cual no defraudamos.

## INTRODUCCION

La Refinería Puerto La Cruz está ubicada al este de la Ciudad de Puerto La Cruz en el Estado Anzoátegui, comprende lo que al principio fué la Venezuelan Gulf Co., cuyos accionistas fueron la Mene Grande Oil Co., la Texas Petroleum Co., y la Refinería El Chaure, anteriormente propiedad de la Sinclair Venezuela Oil Co.

Inicia sus operaciones en 1950 y consta de: Tres (3) Destiladoras Atmosféricas, Una (1) Planta Catalítica, Una (1) Planta de Alquilación y otras plantas menores, servicios propios de energía eléctrica, sistema de vapor, agua potable, aire comprimido y de enfriamiento; tiene una capacidad de procesamiento de 205.000 Barriles Diarios de Crudo (BDC). Estas instalaciones poseen 1035 equipos rotativos, exceptuando motores de válvulas motorizadas y mezcladores. Así como algunas instalaciones fuera de servicio.

De los equipos rotativos el 40% son bombas, las cuales en general manejan crudos y refinados del petróleo. Estas bombas, en su mayoría son movidas por motores eléctricos y/o turbinas a vapor.

Los equipos por su función son clasificados en críticos, semicríticos y no críticos. Denominándose críticos aquellos que al dejar de funcionar implican parada en la planta. Los semicríticos implican reducción de producción y los no críticos son todos aquellos que no afectan la producción. Estos equipos rotativos en la mayoría de los casos poseen un auxiliar, el cual es utilizado en caso de falla del principal. De estos equipos, 694 son inspeccionados predictivamente con una frecuencia semanal. Como resultado de estas inspecciones, se logra detectar el 80% de las fallas predecibles, entre las cuales la más usual es la falla debida a fatiga de elementos y partes que componen un equipo rotativo, debido a que durante su funcionamiento se generan fuerzas que varían en magnitud, dirección y sentido. Esto significa que las fallas en equipos rotativos siempre van a estar presentes, pero deben ser controladas mediante la aplicación de un adecuado mantenimiento predictivo, (caso fallas predecibles) y por mantenimiento preventivo para fallas cíclicas, como es el caso de sellos mecánicos.

Adicionalmente, se elaboró un pareto (Figura 2) para identificar cuales eran los componentes con mayor índice de falla, resultando los sellos mecánicos y rodamientos los de mayor peso.

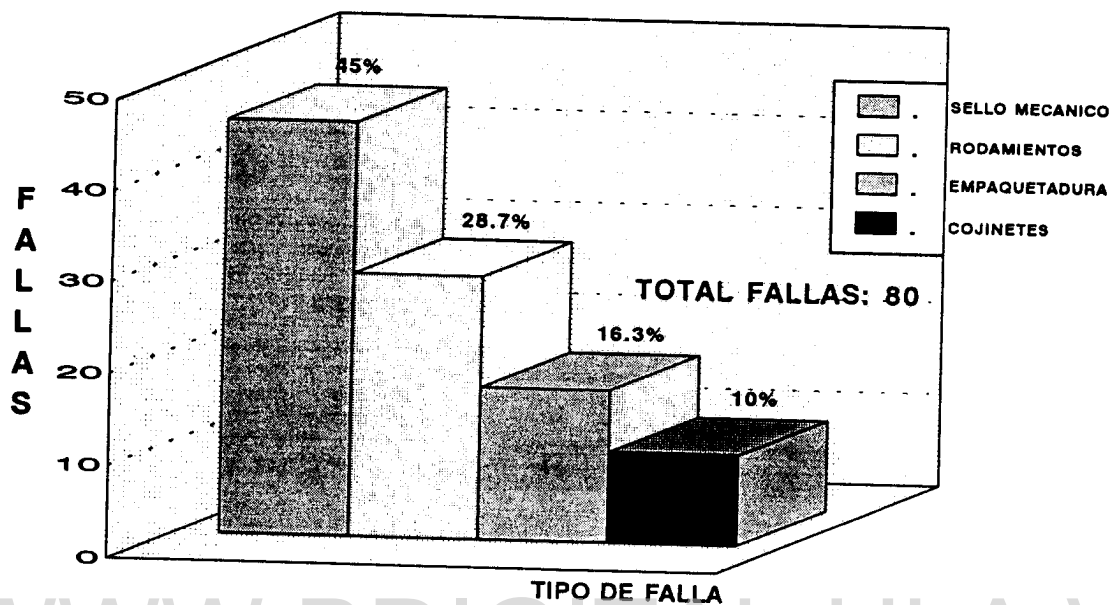


Figura 2.- FALLAS COMPONENTES DE BOMBAS

De lo anterior, se deduce que el objetivo de este trabajo es presentar una herramienta fácil y rápida de utilizar, con relación a la identificación de fallas en componentes de equipos rotativos (sellos mecánicos, empaquetaduras, rodamientos y cojinetes de deslizamiento), por medio de flujogramas y/o guías que permita a profesionales y artesanos, expertos o no en equipos rotativos, identificar de manera práctica las causas, a partir de los síntomas observados (basado en experiencias propias y foráneas) y sea posible, de forma inmediata tomar las acciones correctivas pertinentes a objeto de evitar la recurrencia de las mismas y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, desarrollándose de esta manera la capacidad técnica-analítica del personal en el diagnóstico de fallas, produciendo ahorros en la gestión de mantenimiento y de igual forma, reducción en los riesgos del personal mantenedor, al tener menor exposición a sustancias tóxicas, como es el caso de la Planta de Alquilación.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

## I.- BOMBAS

### INTRODUCCION

Se denomina **Equipo Rotativo**, toda máquina que disponga de uno o varios rotores para ejecutar una de las siguientes funciones: [1]

Bombas	→	eje + impulsor	→	bombear
Compresor	→	eje + impulsor	→	comprimir
Turbina	→	eje + rueda	→	mover una bomba
Reductor	→	piñon + corona	→	transmitir movimiento

Se entiende por rotor, aquel elemento que puesto en movimiento rotativo, impulsa o es impulsado por algún fluido, gas u otro elemento, rotor de turbina, engranaje, etc. El rotor, componente fundamental en todo equipo rotativo, está conformado por una serie de elementos dispuestos sobre un eje. Estos al girar, transforman la energía mecánica (rotación) en presión, velocidad, energía mecánica (e indirectamente calor o viceversa).

Lo anterior funciona en cada uno de los equipos rotativos de la forma parecida al esquema presentado en la Tabla 1:

**TABLA 1.- Esquema de funcionamiento de equipo rotativo**

EQUIPO	PROCESO
BOMBA O COMPRESOR	ROTACION → VELOCIDAD → PRESION + CALOR
TURBINA	PRESION → VELOCIDAD → ROTACION + CALOR
REDUCTOR	ROTACION → ROTACION + CALOR
MOTOR	ELECTRICIDAD → ROTACION + CALOR
GENERADOR	ROTACION → ELECTRICIDAD + CALOR

[ ]: Números entre corchetes significan Referencias Bibliográficas presentadas al final del Trabajo.

Las primeras bombas de las que se tiene conocimiento, son conocidas de diversas formas, dependiendo de la manera en que se registró su descripción, como las ruedas persas, ruedas de agua o norias. Todos estos dispositivos eran ruedas bajo el agua que contenían cubetas que se llenaban con agua cuando se sumergían en una corriente y que automáticamente se vaciaban en un colector a medida que se llevaban al punto más alto de la rueda en movimiento.

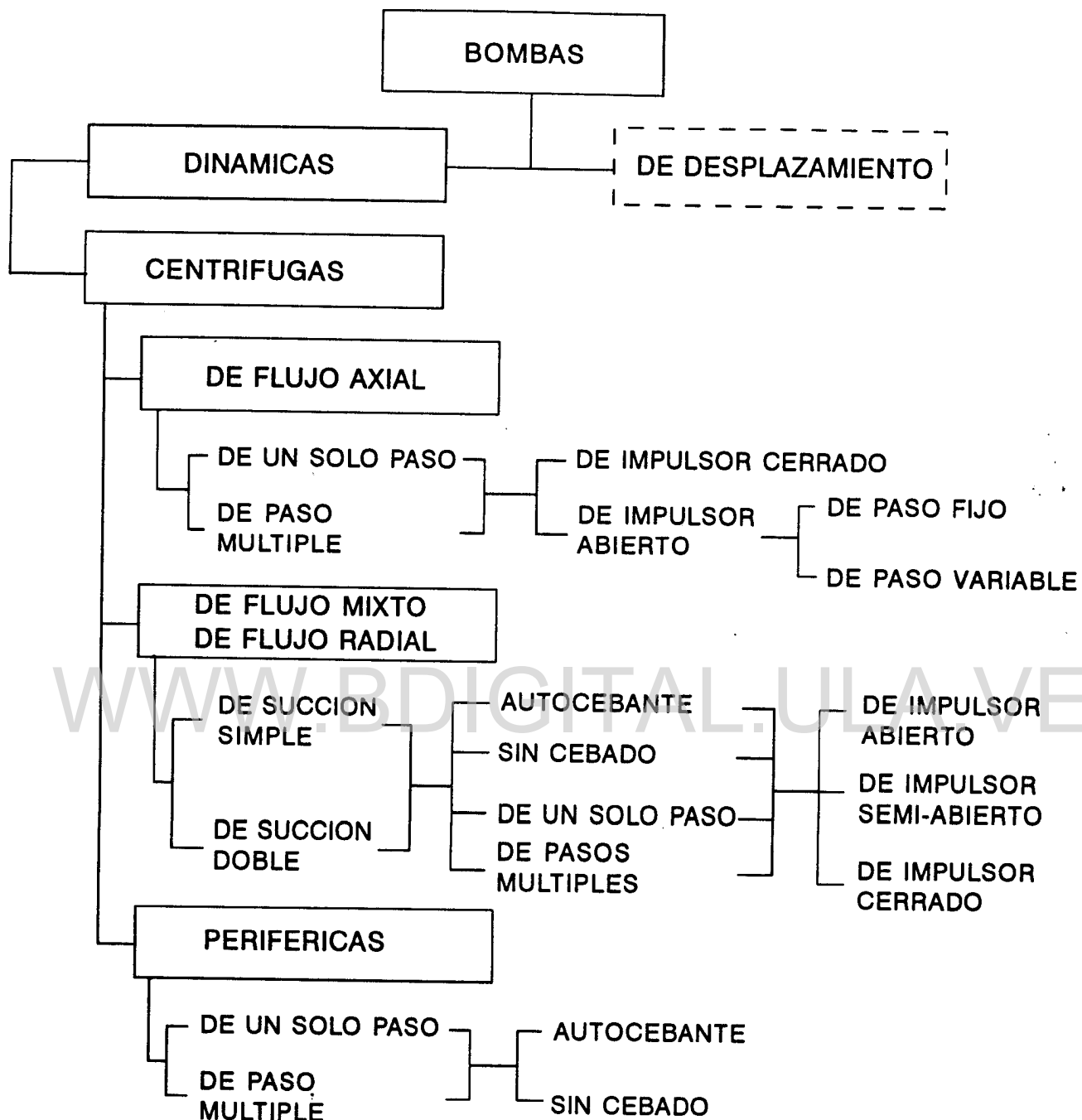
Puesto que las bombas han existido por tanto tiempo y su uso está tan extendido, no es de sorprenderse que se produzcan una gran variedad de tamaños y tipos y que se apliquen también a una infinidad de servicios. Las bombas pueden clasificarse sobre la base de las aplicaciones a que están destinadas, los materiales con que se construyen, los líquidos que mueven y aún su orientación en el espacio. El sistema básico de clasificación define primero el principio por el cual se agrega energía al fluido, investiga la identificación del medio por el cual se implementa este principio y finalmente delinea las geometrías específicas comúnmente empleadas. Bajo este sistema las bombas pueden clasificarse en dos grandes categorías:

1) **Dinámicas**, en las cuales se añade energía continuamente, para incrementar las velocidades de los fluidos dentro de la máquina a valores mayores de los que existen en la descarga, de manera que la subsecuente reducción en velocidad dentro, o más allá de la bomba, produce un incremento de la presión.

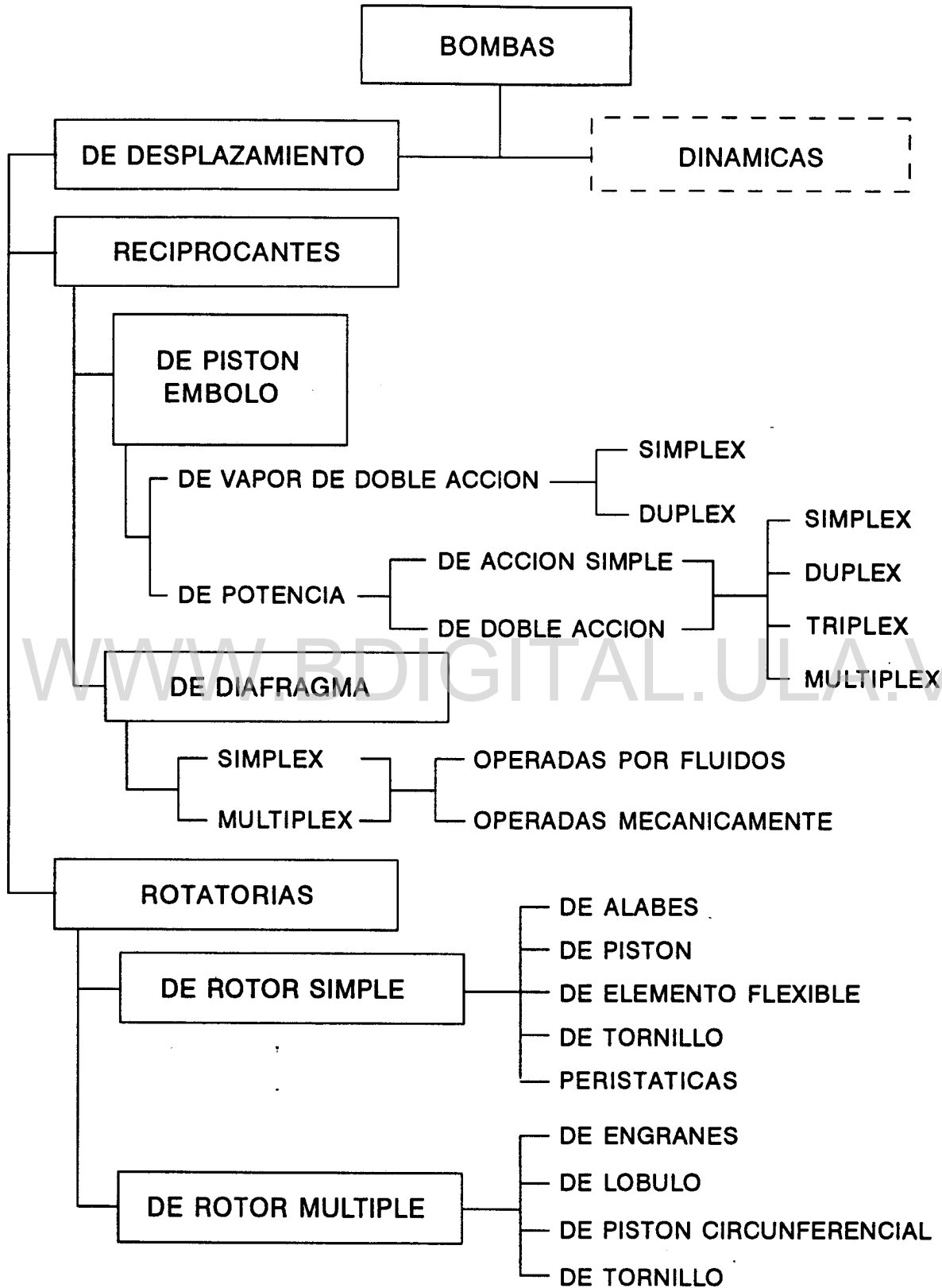
2) **Desplazamiento**, en las cuales se agrega energía periódicamente mediante la aplicación de fuerza a uno o más límites móviles de un número deseado de volúmenes que contiene un fluido, lo que resulta en un incremento directo de presión hasta el valor requerido para desplazar el fluido a través de válvulas o aberturas en la línea de descarga.

Las figuras 1.1 y 1.2, presentan en forma esquemática un resumen de las principales clasificaciones y subclasificaciones de los tipos de bombas mencionados anteriormente.

**FIG. 1.1 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS DINAMICAS**



**FIG. 1.2 CLASIFICACION DE LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO**



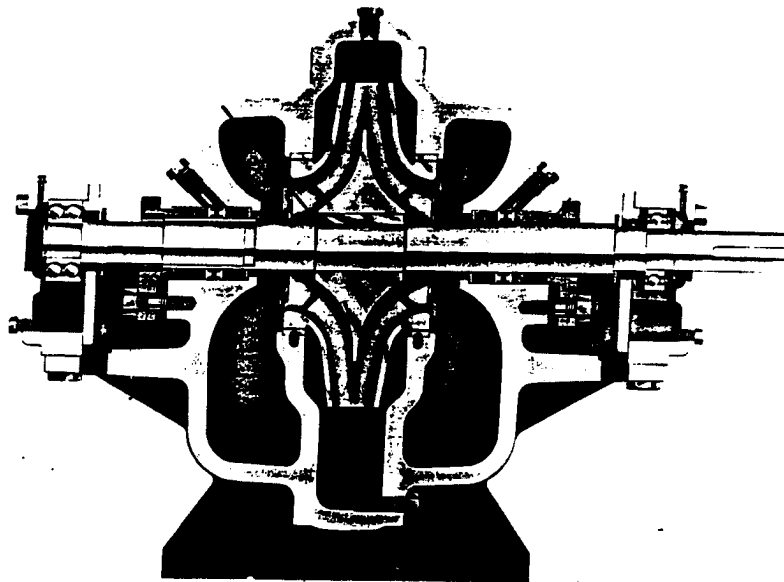
## **1.1.- Bombas Centrífugas**

Los movimientos de los fluidos en una bomba centrífuga son complejos. Los vectores de velocidad no son paralelos a las paredes de los pasajes de los fluidos y ocurren movimientos secundarios apreciables cerca de la descarga del impulsor y en la sección de difusión.

Una bomba centrífuga consiste de un juego de álabes rotatorios dentro de un alojamiento, o carcasa, que se utilizan para impartir energía a un fluido por medio de la fuerza centrífuga. Así, libre de todo refinamiento, una bomba centrífuga consiste de dos partes principales: 1) elemento rotatorio, que incluye un impulsor y un eje, y 2) elemento estacionario formado por una carcasa, y un alojamiento (estopero) para el sellado y rodamientos. [2]

En una bomba centrífuga el líquido se fuerza a entrar en un juego de álabes rotatorios, mediante la presión atmosférica o cualquiera otra clase de presión. Estos álabes constituyen un impulsor que descarga el líquido en su periferia a más alta velocidad. Esta velocidad se convierte en energía de presión por medio de una voluta o mediante un juego de álabes estacionarios de difusión rodeando la periferia del impulsor.

La figura 1.3, muestra una bomba centrífuga horizontal de voluta, de un solo paso, de doble succión.



**Figura 1.3.- Bomba centrífuga de voluta**

Los elementos más importantes de una bomba centrífuga son: la carcaza, el impulsor, los anillos de desgaste, el eje, la caja para estopero, el sello mecánico o empaquetaduras y los cojinetes.

La **carcaza**, corresponden a un elemento estacionario de la bomba, éstas pueden ser partidas horizontalmente ó axialmente, donde la carcaza es dividida en un plano horizontal a través de la línea de centros del eje, las boquillas de descarga y de succión se encuentran normalmente en la misma mitad de la carcaza y la otra mitad puede removerse para inspeccionar el interior sin dañar los rodamientos o la tubería. Su contraparte, las partidas verticalmente o radialmente, se refiere a una carcaza seccionada en un plano perpendicular al eje de rotación.

El **impulsor**, éstos pueden tener distintas formas y configuraciones, el diseño mecánico origina una clasificación de los impulsores, que pueden ser: completamente abiertos, semiabiertos o cerrados. Un impulsor abierto consiste sólo de álaves fijos a un mamelón central para montarse a un eje sin ninguna forma de paredes o placas de refuerzo. El impulsor semiabierto, incorpora una placa de refuerzo o una pared posterior del mismo. El impulsor cerrado, que se usa casi universalmente en bombas centrífugas para el manejo de líquidos corrientes, incorpora refuerzos o paredes laterales que encierran totalmente los canales del impulsor desde el ojo de succión hasta la periferia.

Los **anillos de desgaste**, constituyen una junta de escurrimiento fácil y económicamente renovable entre el impulsor y la carcaza. Hay varios tipos de diseño de anillos de desgaste y la selección del tipo más conveniente depende del líquido que se maneja, del diferencial de presión a través de la junta de escape, de la velocidad de fricción y del diseño particular de la bomba. Las construcciones de anillos más comunes son las del tipo plano y las del tipo L.

El **eje**, tiene la función de transmitir los pares motores que se encuentran en el arranque y durante la operación, mientras soportan al impulsor y otras partes en rotación. Esta función se debe cumplir con una deflexión menor que el claro mínimo entre las partes rotatorias y las partes estacionarias.

La **caja para estopero**, tienen la función primordial de proteger la bomba contra las fugas en el punto donde el eje pasa hacia afuera a través de la carcasa de la bomba, previene la entrada de aire hacia la bomba cuando la presión interior está por debajo de la atmosférica y evita fugas de líquido hacia el exterior de la bomba cuando la presión interior es mayor a la atmosférica.

El **sello mecánico**, cuando el diseño convencional del estopero y la composición del empaque no son prácticos para usarse como método de sellado, es conveniente la utilización de los sellos mecánicos, que constan de dos superficies altamente pulidas que corren adyacentemente, estando una superficie conectada al eje y la otra a la parte estacionaria de la bomba, con la finalidad de evitar fugas.

Los **cojinetes**, tienen como función importante mantener el eje o rotor en correcto alineamiento, con las partes estacionarias, y soportar la acción de cargas radiales y axiales. Los cojinetes más comúnmente utilizados en las bombas son los rodamientos de bolas, en diferentes formas y tamaños.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

## **1.2.- Bombas de Desplazamiento**

Una bomba de desplazamiento es aquella en la que un émbolo o pistón desplaza un volumen dado de fluido en cada carrera. El principio básico de una bomba alternativa es que un sólido desplazará un volumen igual de líquido. Todas las bombas tienen una parte que maneja el fluido, comúnmente llamada el extremo líquido, el cual tiene: [2]

1. Un sólido que se desplaza, (émbolo o pistón)
2. Un recipiente que contiene al líquido, (cilindro)
3. Una válvula de succión de retención que admite el fluido de la tubería de succión hacia el cilindro.
4. Una válvula de descarga de retención que admite el flujo del cilindro hacia la tubería de descarga.

5. Empaque para sellar perfectamente la junta entre el émbolo y el cilindro y evitar que el líquido se fugue del cilindro y el aire entre al cilindro.

Las bombas rotatorias son bombas de desplazamiento en las cuales la acción principal de bombeo es originada por el movimiento relativo entre los elementos rotatorios de la bomba y los estacionarios. Entre sus partes más importantes se tienen: la cámara de bombeo, se define generalmente como el espacio interior de la bomba que puede contener el fluido bombeado, mientras la bomba está en operación. El cuerpo, es la parte de la bomba que rodea los límites de la cámara de bombeo y se llama a veces carcasa o alojamiento. El ensamble rotatorio, generalmente incluye todas las partes de la bomba que giran cuando la bomba está en operación, mientras que el rotor, es la parte específica del ensamble rotatorio que gira dentro de la cámara de bombeo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

## II.- SELLOS MECANICOS

### INTRODUCCION

Los sellos mecánicos impiden el escape de todos los tipos de fluidos, sean gases o líquidos, a lo largo de un eje rotatorio que se extiende en una carcasa o cubierta, es por ello que un sello mecánico es definido técnicamente como un dispositivo que previene al escape del fluido de un recipiente, el cual es atravesado por un eje rotativo, realizándose el sellado por el contacto axial de sus caras que se encuentran perpendiculares al eje y en movimiento relativo una de otra. [3]

Los equipos en que se utilizan sellos mecánicos son las bombas centrífugas, rotorias, compresores centrífugos, de flujo axial y rotatorios y en los agitadores.

### 2.1.- SELLO MECANICO

El sello mecánico puede visualizarse mejor en su forma más simple, como un saliente del eje que gira contra una pared del recipiente. El sellado se logra en el área donde las dos caras establecen contacto, como puede observarse en la figura 2.1.

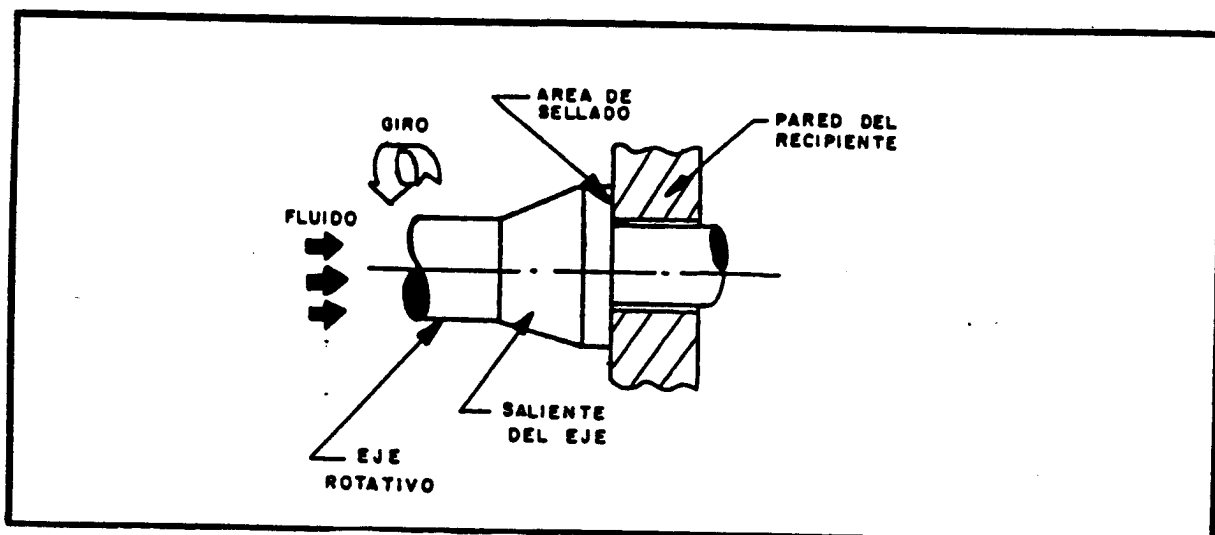


Figura 2.1.- Esquema simplificado de un sello mecánico

## 2.2.- Elementos del sello mecánico

Los componentes de los sellos mecánicos están en función de su diseño, pero básicamente se agrupan de la siguiente manera: [1]

a. Elementos sellantes

b. Resorte o fuelle

En la figura 2.2, pueden observarse las diferentes partes que componen el sello y a continuación se describen algunas de estas partes.

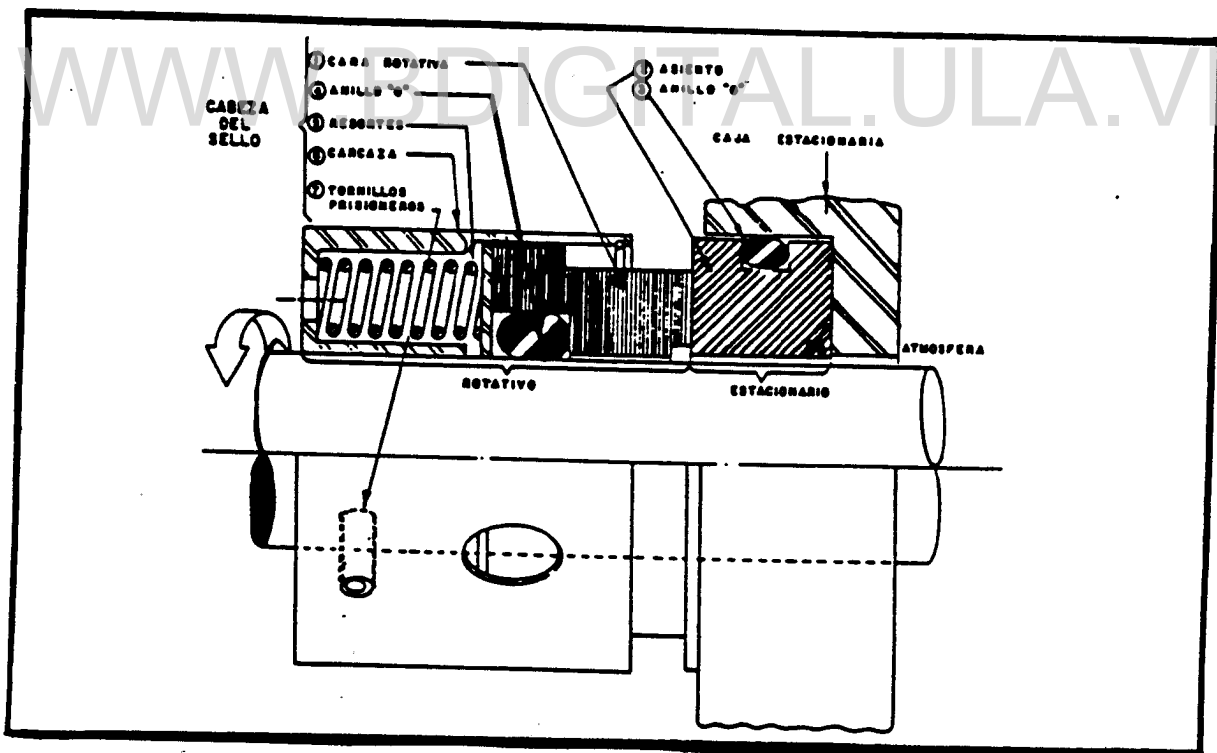


Figura 2.2.- Representación de un sello mecánico

### **2.2.1.- Sellado primario:**

El sellado primario se produce cuando los elementos de un sello mecánico se mueven uno con respecto al otro, empujados por fuerzas axiales, produciendo una presión entre ellos. Esta presión se distribuye en las caras de contacto en forma de cuña, formando una película de lubricación interfacial, conocida como cuña de presión. La cantidad de presión entre las caras es de suma importancia, ya que, cuando la presión es muy alta, la película de la cuña será expulsada y al correr en el sello seco, se acelerará la destrucción de los elementos de desgaste.

Las funciones principales del sellado primario son, la retención del fluido a sellar y la preservación de las superficies deslizantes, por medio de la película de lubricación interfacial, mencionada anteriormente.

Los elementos que conforman un sello primario son los asientos estacionarios y rotativos. Están constituidos por dos caras lapeadas, que desarrollan un paso difícil de fuga perpendicular al eje, debido al contacto (rozamiento) entre las caras. En todo sello, una cara es rotativa y la otra es fijada al eje con el que gira.

### **2.2.2.- Sellado secundario:**

Los elementos sellantes secundarios, son aquellos que sellan los senderos de fuga que se producen al instalar los elementos fijos y móviles de desgaste. En forma general se utilizan como elementos secundarios, elastómeros, metal y TFE en los sellos de no empuje y empaques deslizantes tales como "O" ring, cuña, etc., en los sellos de empuje. Estos elementos son en cierto modo dinámicos, puesto que es requerido a desplazarse en cuanto sufre desgaste en las caras.

### **2.2.3.- Elastómeros:**

Existe una gran variedad de elastómeros o materiales secundarios para sellos, utilizados en el montaje de un sello mecánico y su asiento. Estos materiales incluyen caucho y una variedad de materiales sintéticos. Entre los más conocidos están: Buna N, Teflón, Neopropileno y Vitón. Con la finalidad de realizar una selección adecuada, esta función la tendrá un experto, para lo cual deberá conocer el producto

que se está bombeando, las presiones y temperatura a que será sometido, tamaño, revoluciones por minuto, etc. El elastómero deberá estar libre para deslizarse a lo largo del eje, en dirección axial. Si no hay presión de la bomba, actuando sobre el elastómero, éste actúa para prevenir escapes y por lo tanto, tendrá que estar ajustado entre el anillo de sello y el eje. Cuando la presión sobre el elastómero en forma de anillo "O", alcanza una presión de 75-100 PSI, el anillo cambiará su forma y se adaptará a la de la ranura o canal. (Ver anexo No. 1, Selección de elastómeros)

#### **2.2.4.- Resorte o fuelle:**

El resorte tiene como función, mantener el sistema de sellado primario y el asiento apretado uno contra el otro, cuando la presión del fluido no es capaz de hacerlo. La acción del resorte es necesaria en servicios ligeros, de bajas presiones o altura de aspiración elevada.

En los equipos de alta presión que deben ser arrancados y parados, el resorte ejerce, durante los períodos de parada la fuerza necesaria, para obtener el sellado, actuando, de la misma forma durante el período de arranque. El tipo de resorte más usado es el de muelle helicoidal, el cual permite montar un resorte único o bien, una serie de ellos con distribución uniforme.

El resorte único es robusto, autolimpiable y se recomienda cuando el producto a sellar es viscoso o abrasivo, pero tiene la desventaja de no producir presión uniforme en las caras de contacto del sello.

En los sellos multiresortes, la presión se distribuye uniformemente en las caras de contacto. Se recomienda cuando se trabaja con líquidos cercanos a su punto de ebullición, en los que es necesario un cuidadoso control de la lubricación interfacial. Los resortes múltiples tienden a atascarse con líquidos viscosos o abrasivos.

En los casos donde el sello mecánico sea de fuelle, el arrastre positivo se consigue por el ajuste que tiene el fuelle entre el eje y el anillo de arrastre del sello.

### 2.3.- CLASIFICACION DE LOS SELLOS MECANICOS

En el mercado existen una gran variedad de sellos mecánicos, independientemente de lo diferente que puedan parecer, todos ellos encajan dentro de cierta clasificación, que puede hacerse por las características de su diseño o por el arreglo posicional, en la figura 2.3, se presenta una clasificación general de éstos. [1]

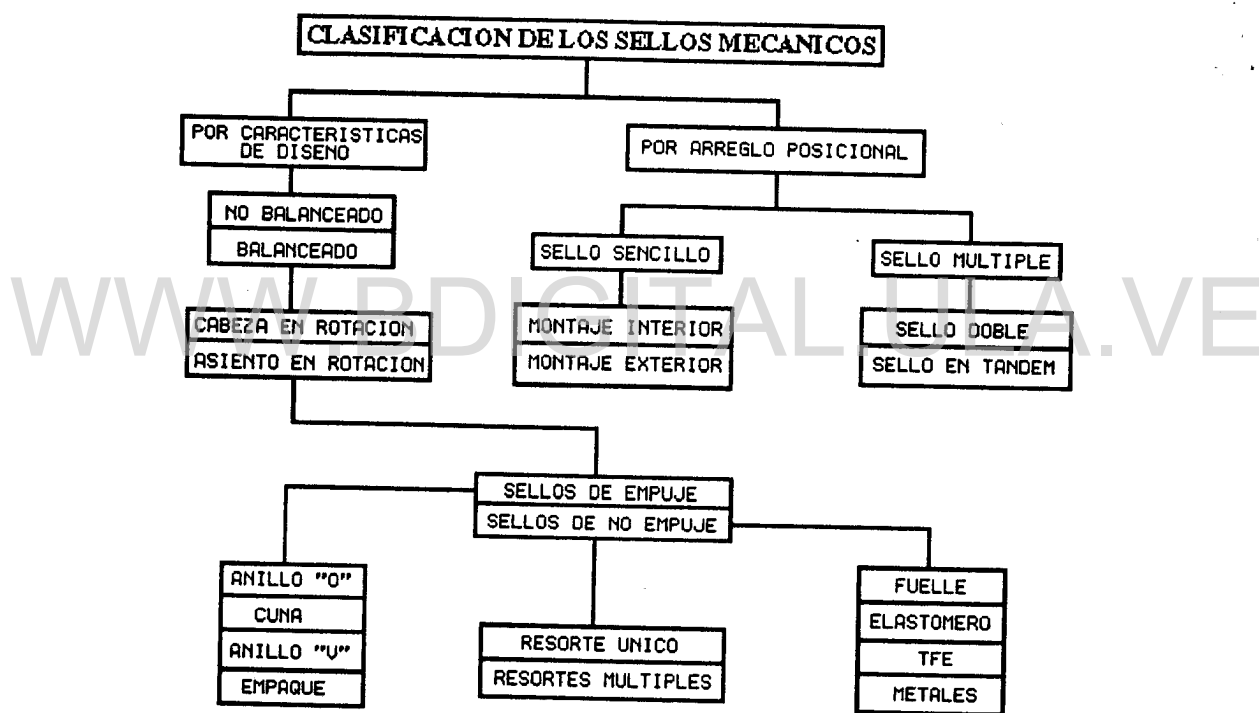


Figura 2.3.- Clasificación de sellos mecánicos

En la primera parte de esta clasificación se incluyen los sellos no balanceados y balanceados.

### 2.3.1.- Sellos mecánicos no balanceados:

En este tipo de sello la presión del líquido actúa directamente sobre el área del anillo giratorio y entre ellas siempre debe haber una película de líquido para proveer la lubricación interfacial. Este líquido entra entre las caras del sello a la presión de la caja de prensaempaque y sale a la presión atmosférica.

La película de líquido crea un gradiente de presión que tiende a separar los anillos, sin embargo, este gradiente ejerce menos fuerza que la presión opuesta. La resultante es una fuerza que empuja un anillo contra el otro y es mayor cuanto mayor sea la presión del líquido. (Figura 2.4)

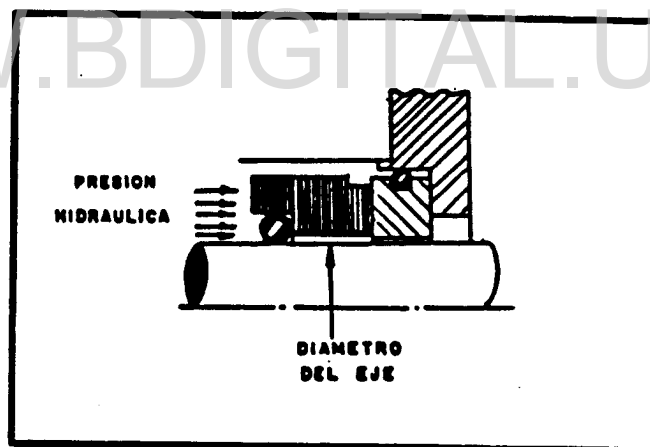


Figura 2.4.- Sello mecánico no balanceado

### 2.3.2.- Sellos mecánicos balanceados:

En los casos donde la presión de la bomba es mayor a 150 PSI, la mayoría de los fabricantes recomiendan un sello montado internamente. Cuando el sello es interno, la presión de la bomba ayuda a mantener las caras juntas. El balance de los sellos se aplica para mantener la presión entre las caras de los anillos al mínimo posible; para que el aumento de temperatura por fricción sea limitado. (Figura 2.5)

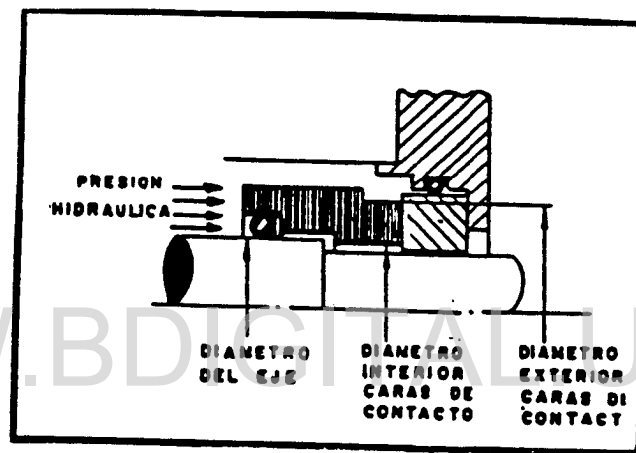


Figura 2.5.- Sello mecánico balanceado

Dependiendo de cual de los elementos de sellado primario se encuentra en giro, los sellos se agrupan en:

- Sellos mecánicos con cabeza en rotación
- Sellos mecánicos con asiento en rotación

Ambos sistemas son usuales. La selección depende primordialmente del tipo de equipo en que se apliquen. En muy altas revoluciones el diseño simple del asiento permite un balance dinámico más fácil, sin embargo, la mayoría incluye cabeza rotativa. (Figura 2.6)

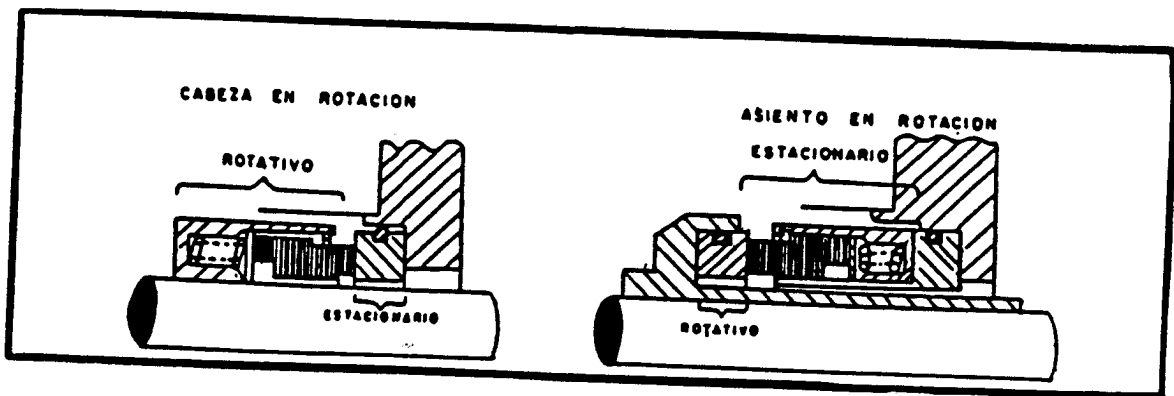


Figura 2.6.- Sello mecánico con cabeza en rotación y asiento en rotación

Esta clasificación por características de diseño agrupa a los sellos dentro de las categorías de:

- a.- Sellos de empuje
- b.- Sellos de no empuje

### 2.3.3.- Sellos de empuje:

Con el sello de empuje se utilizan anillos "O", cuñas u otros empaques, el sello secundario debe deslizarse por empuje a lo largo del diámetro exterior del eje o camisa para compensar el desgaste de las caras en contacto. (Figura 2.7)

Los anillos "O" son simples y de fácil habilitación, sus limitaciones son la compatibilidad del fluido de operación con el elastómero seleccionado y la temperatura que pueda soportar.

Las cuñas fabricadas en TFE, son compatibles con una gran variedad de productos químicos y su resistencia a los límites de temperatura cubre desde aplicaciones criogénicas a  $-215\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta un máximo de  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; fabricadas de asbestos especiales, este límite puede incrementarse hasta  $345\text{ }^{\circ}\text{C}$  y en el filamento de grafito puro hasta  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En muy altas presiones se usan anillos "V" o arreglos especiales de empaquetadura. Sin embargo, como estos ensambles requieren mayor espacio se sacrifica la flexibilidad entre las caras y se pierde el buen punto de pivote que tienen por configuración el anillo "O" o la cuña.

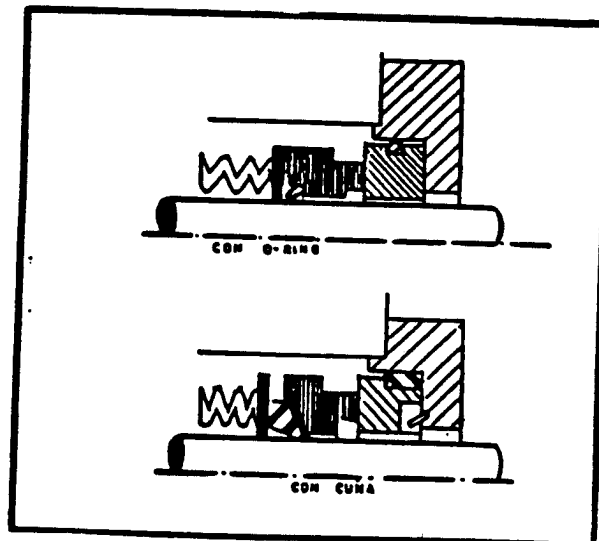


Figura 2.7.- Sello mecánico de empuje

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

### 2.3.4.- Sellos de no empuje:

Los sellos de no empuje utilizan en contraste, el elemento sellante secundario en configuración de fuelle; uno de sus extremos se sujeta firmemente al eje, formando un sellado estático y creando el punto inicial de arrastre positivo. Las convoluciones del fuelle que no establecen contacto con el diámetro exterior del eje compensan el desgaste de las caras en contacto y proporcionan excelente flexibilidad. Además, de los conocidos fuelles de caucho sintético, se utilizan para productos corrosivos fuelles de TFE y para servicios a temperaturas sobre 345 °C, fuelles metálicos. (Figura 2.8)

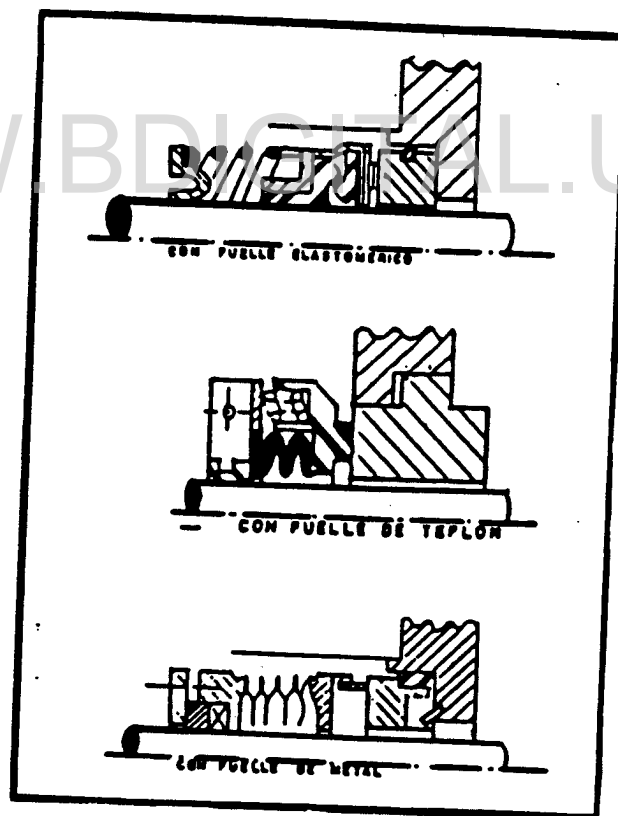


Figura 2.8.- Sello mecánico de no empuje

En la clasificación por características de diseño de los sellos mecánicos se tiene:

**a.- Sellos mecánicos de resorte único**

**b.- Sellos mecánicos de resortes múltiples**

### **2.3.5.- Sellos mecánicos de resorte único:**

En el resorte único, el mayor grueso de su sección resiste por más tiempo la corrosión que el alambre de sección delgado.

### **2.3.6.- Sellos mecánicos de resortes múltiples:**

En este tipo de sello, los resortes soportan menos los ataques corrosivos de los fluidos por tener estos resortes una sección menor que la de los sellos mecánicos de resorte único. Sin embargo, producen en conjunto radial, mejor uniformidad de carga a las caras de contacto y pueden fabricarse económicamente de materiales de alta resistencia corrosiva (Hastelloys, Iconel y aún de Titanio).

Según el tipo de montaje se clasifican en interno y externo. Si el anillo primario está montado en el recipiente para el líquido se denomina, sello interno; si está montado en el exterior, se denomina sello externo. Se prefiere el montaje interior, ya que la presión hidráulica del fluido actúa positivamente para mantener las caras en contacto y se obtiene una lubricación interfacial más estable. La fuerza centrífuga actúa a favor alejando las posibles partículas abrasivas del área de sellado.

El montaje exterior, es en ocasiones necesario por facilidades de mantenimiento; o para evitar el contacto del fluido en operación con los componentes metálicos que forman parte de la cabeza del sello.

Otro tipo de sello que se utiliza con frecuencia para resolver problemas ambientales y de seguridad es el que tiene sellos en paralelo o en tándem. Estos son un arreglo de dos sellos sencillos montados en la misma dirección (Figura 2.10). El líquido secundario crea una zona de amortiguamiento (buffer) entre el fluido en operación y el medio exterior. Este tipo de sello tiene algunas diferencias con respecto a los sellos dobles:

Primero, ambas caras del sello están en la misma dirección, en vez de estar "encontradas" (espalda con espalda).

Segundo, el líquido en la cavidad del sello se utiliza como barrera y está a una presión menor que la que hay en el estopero, por lo tanto, las fugas serán del estopero a la cavidad del sello que contiene el líquido de barrera.

Tercero, se utiliza lavado del sello en el estopero para eliminar el calor de la fricción. El sello secundario (externo) sirve de complemento para el primario o interno.

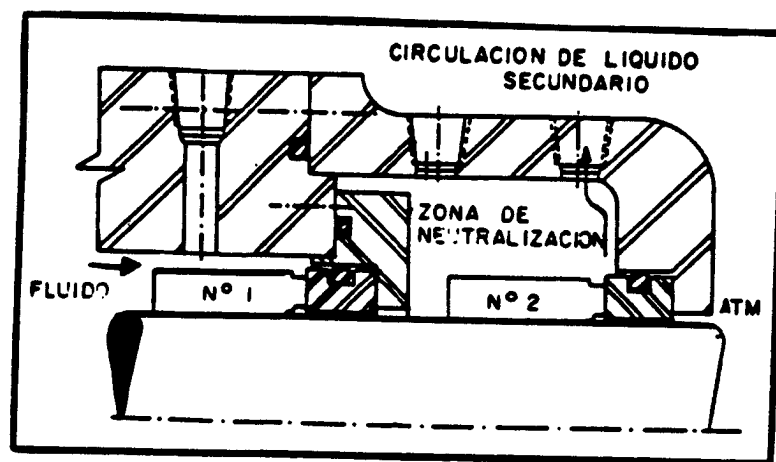


Figura 2.10.- Sellos en paralelo ó en tándem

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

## 2.4.- METODOS DE ENFRIAMIENTO DE LOS SELLOS MECANICOS

Existen varias formas de enfriamiento de los sellos mecánicos, éstas están en función del diseño del equipo y de las condiciones de servicio al que va a estar sometido el equipo de bombeo. La finalidad es la de mantener dentro de las condiciones operacionales de temperatura los dispositivos de sellado. [4]

Generalmente, se pueden agrupar en dos tipos:

- . Enfriamiento por el mismo producto bombeado
- . Enfriamiento mediante fuente externa

Normalmente los sellos mecánicos son enfriados o lubricados por el mismo fluido que la bomba está manejando, pero hay otros casos donde las condiciones existentes requieren de otros métodos diferentes de enfriamiento y lubricación de los sellos, (Ver anexo No. 2, Planes API para instalación de Sellos Mecánicos), como por ejemplo:

1.- Hay situaciones donde el fluido no puede ser usado como lubricante de la cara y tampoco puede ser diluído o contaminado por ningún fluido, incluso en estos casos un sello mecánico doble es el más indicado a usar.

2.- Hay casos donde el producto puede ser filtrado y luego usarlo como enfriamiento y lubricante del sello, hay algunos sistemas modernos que usan un separador centrífugo para remover los sólidos y de esta manera limpiar los líquidos.

Los productos abrasivos deben ser manejados de forma especial:

a.- El producto es filtrado, colado o preparado y luego utilizado para enfriar y lubricar el sello.

b.- Instalar lubricación externa con un buje de garganta (para conservar el lubricante), es usado para enfriar el área del sello.

c.- Una barrera de fluido entre un sello doble lubrica y previene que los abrasivos entren o alcancen las caras del sello.

d.- Utilización de la fuerza centrífuga para expulsar las partículas abrasivas del diámetro externo de las caras del sello.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

En bombas de varias etapas una caja de sello está bajo presión de succión y la otra bajo presión de la primera etapa.

El flujo va desde la succión de la segunda etapa y pasa al sello, a través de la tubería auxiliar, pasa al otro sello y luego a la succión de la primera etapa.

En los sellos mecánicos sencillos o dobles se puede utilizar un sistema cerrado que consta de un anillo de bombeo y un intercambiador de calor en un cuadro cerrado de tubería. El anillo de bombeo es ranurado, se monta en el eje entre los sellos; puede girar y sirve como una bomba de baja capacidad y baja carga. Estos anillos producen suficiente carga para circular el líquido de sellado por el intercambiador de calor y de retorno. A veces se prefiere el anillo de bombeo en vez de un sistema de derivación con intercambiador, porque en tal caso el intercambiador puede ser más pequeño.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

## 2.5.- MONTAJE DE SELLOS MECANICOS

Los pasos para el montaje de un sello mecánico están referidos a una bomba partida radialmente, considerando que éstos se pueden aplicar en otros diseños de bombas. A continuación se mencionarán consideraciones para el montaje de sellos: [3]

- Leer y entender suficientemente el diseño de montaje del sello.
- Conocer los materiales con que se va a trabajar, generalmente los principales componentes de los sellos son fabricados con materiales frágiles que se parten fácilmente.
- Proteger los elementos del sellado primario (caras lapeadas) y los elementos de sellado secundario (cuñas, "O" rings, fuelles, etc.). Las caras de los contactos son lapeadas con una planitud de 5.8 millonésimas de pulgadas y pulidas a 15 RMS aproximadamente, por tanto cualquier maltrato que se les dé las puede dañar.

Algunas veces la misma impresión digital puede causar fugas en el sello, por lo que debe evitarse el roce directo con las caras lapeadas. Los elastómeros, el teflón y los empaques secundarios pueden ser fácilmente cortados por rebabas, por lo cuál éstas deben ser limadas previamente.

- Certificar que el eje o la camisa se encuentren libres de rebabas y cantos vivos. Deben tener un acabado apropiado de 50 a 70 RMS para sellos tipo fuelle (no empuje) y 16 a 32 RMS para sellos tipo empuje.

- Establecer los puntos de referencia para el montaje y marcar clara y definitivamente la bomba. Todos los diseños de montaje indican como tomar las referencias.
  
- Usar herramientas adecuadas durante el montaje, no se deben apretar excesivamente los tornillos, e instalar el sello con el uso de un martillo o de otras herramientas que no sean recomendadas.
  
- Verificar que las tuberías estén bien conectadas, conexiones incorrectas, flujos inversos, líneas tapadas, etc., pueden causar fugas prematuras.
  
- Purgar todos los gases (a través del orificio de venteo en la brida) contenidos en la caja de alojamiento del sello, antes del funcionamiento de la bomba. El no hacerlo, podría crear vapores con presión suficiente, para impedir la entrada de lubricante, lo cual puede causar daños en las caras lapeadas.
  
- Verificar que todas las válvulas se encuentren abiertas, asegurando un flujo positivo de refrigeración sobre el sello. En caso donde el sello mecánico necesite de una línea auxiliar de flujo, enjuague (flush) o sofoque (quench), verificar que el sello esté preparado para trabajar antes de abrir la línea.
  
- El movimiento radial del eje (deflexión) no deberá exceder de 0.003" T.I.R. puesto que un eje con deflexión, producirá el mismo efecto en el sello, que un eje no perpendicular a las caras de sellado.

- El movimiento axial puede causar desgaste en la camisa o eje, en el punto donde el elemento sellante secundario, hace contacto. El límite máximo de movimiento para un eje rotativo es de 0.005"; si el movimiento axial del eje supera este límite, se recomienda usar sellos de tipo de no empuje (tipo fuelle).
- La holgura entre el asiento y el eje debe ser mínimo 0.015" por lado, es decir, 0.030" en diámetro. Esto es para evitar un posible roce entre el eje y el asiento.
- La perpendicularidad de las caras de la caja de sellado respecto al eje debe ser no máximo de 0.002" T.I.R. (total indicación reloj comparador), ya que las magnitudes fuera de escuadra son transmitidas por el estacionario del sello a la cara sellante rotativa y de ésta a su vez, al elemento secundario del mismo (elemento de sellado en el eje). Las partes flexibles del sello harán todos los movimientos que las partes rígidas requieren que hagan.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

La perpendicularidad del estacionario respecto al eje, es muy importante en los servicios del sello mecánico: por ejemplo, un asiento estacionario que tenga 0.005" fuera de escuadra, forzará en cada revolución 0.010" a la cara rotativa sellante, si la bomba trabaja 24 horas por día, en rotación de 1.000 RPM, la cara sellante y el elemento de sellado secundario en el eje se moverán 1.440.000 pulgadas por día, provocando un desgaste excesivo en la camisa o en el eje. Por tanto la tolerancia sugerida para la perpendicularidad de la caja de sellado respecto al eje, no debe ser mayor de 0.002" T.I.R.

- El marcado de la línea de referencia, debe hacerse con la bomba armada, esto significa: con el impulsor, los rodamientos, la camisa (si usa), etc., todo instalado con excepción de la brida.

La línea de referencia se hace con una herramienta especial (como la mostrada en la figura 2.11). Al colocarla sobre el plano de la cara de la cavidad de sellado y haciéndola rozar con el eje, al hacer girar éste, marca la línea.

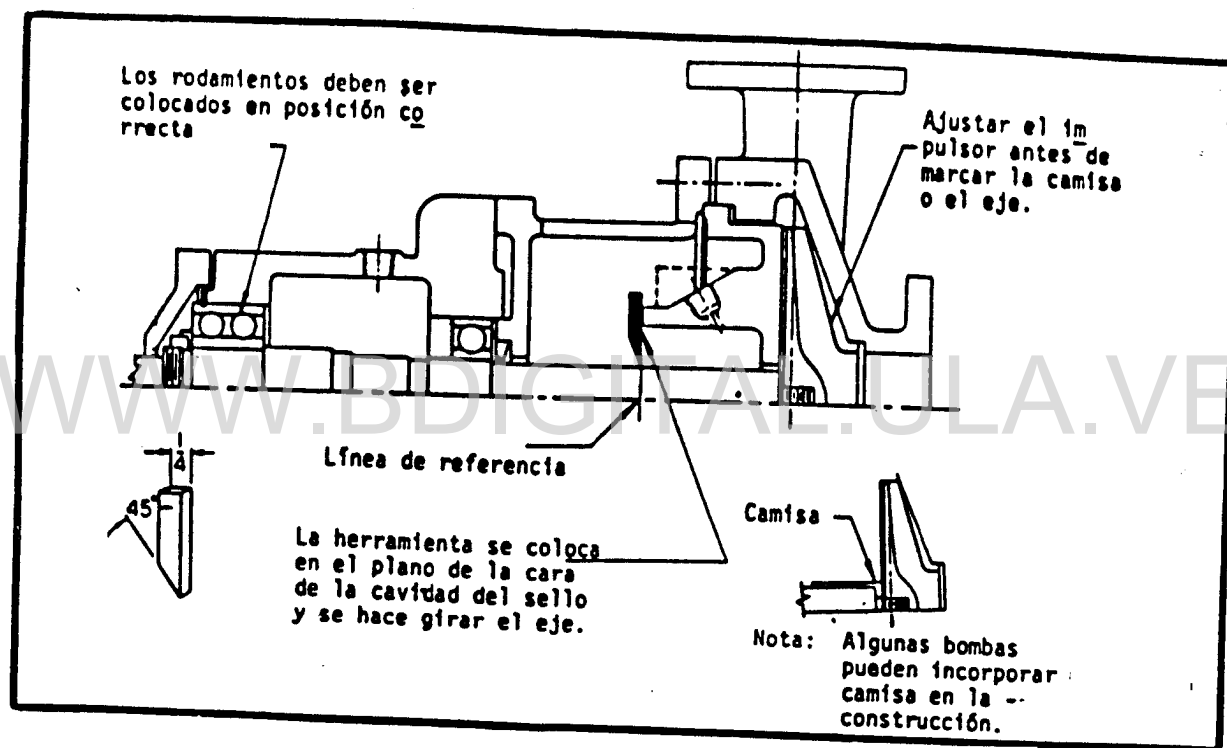


Figura 2.11.- Herramienta utilizada para marcar la línea de referencia

Dependiendo de la construcción de la bomba, variará también la manera de determinar la referencia de instalación. (Figura 2.12)

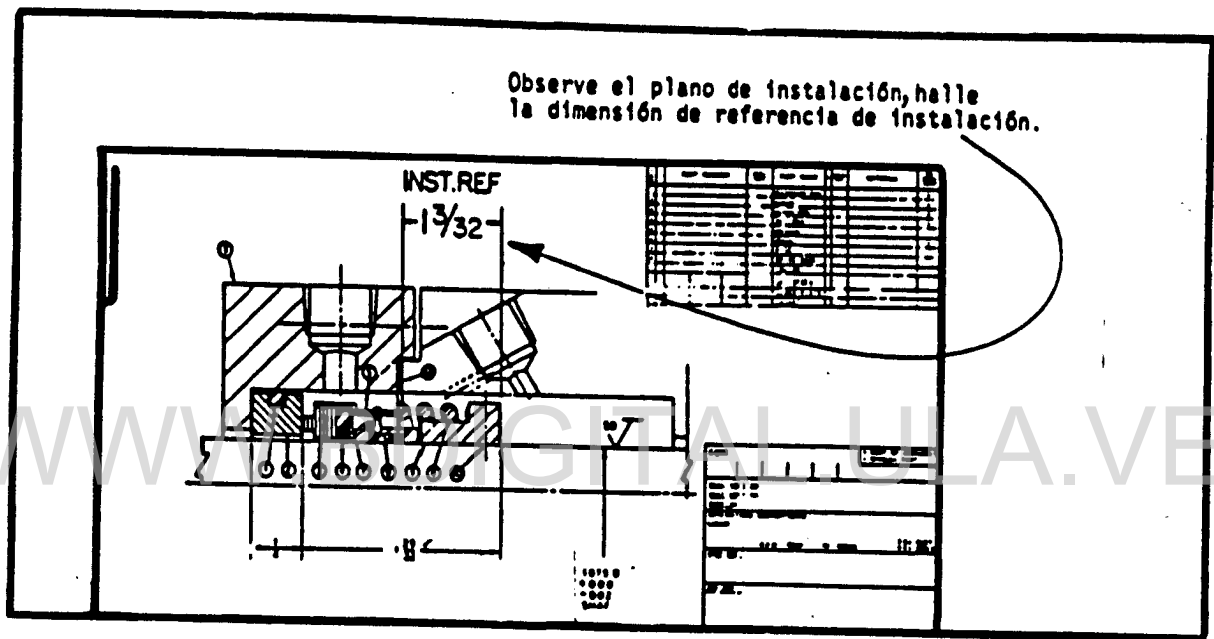


Figura 2.12.- Referencia de instalación

Cuando no se tienen las dimensiones de la referencia de instalación, ésta se puede obtener de la siguiente manera:

La longitud de trabajo del sello, más el largo del asiento, menos el largo de la brida, medida desde el empaque (incluido) hasta donde se apoya el asiento, nos da la dimensión de la referencia de instalación.

- Para instalar el asiento es importante verificar que su alojamiento en la brida no tenga cantos vivos y que posea un chaflán para evitar que el o'ring, o el elemento de sellado secundario sea cortado. Se debe lubricar el elemento de sellado secundario, antes de instalar el asiento en la brida. Al instalar el asiento se debe ajustar firmemente, protegiendo la cara lapeada con un paño limpio. La cara posterior del asiento debe ser inspeccionada para verificar que esté bien asentada. Claro permitido 0.002" . (Figura 2.13).

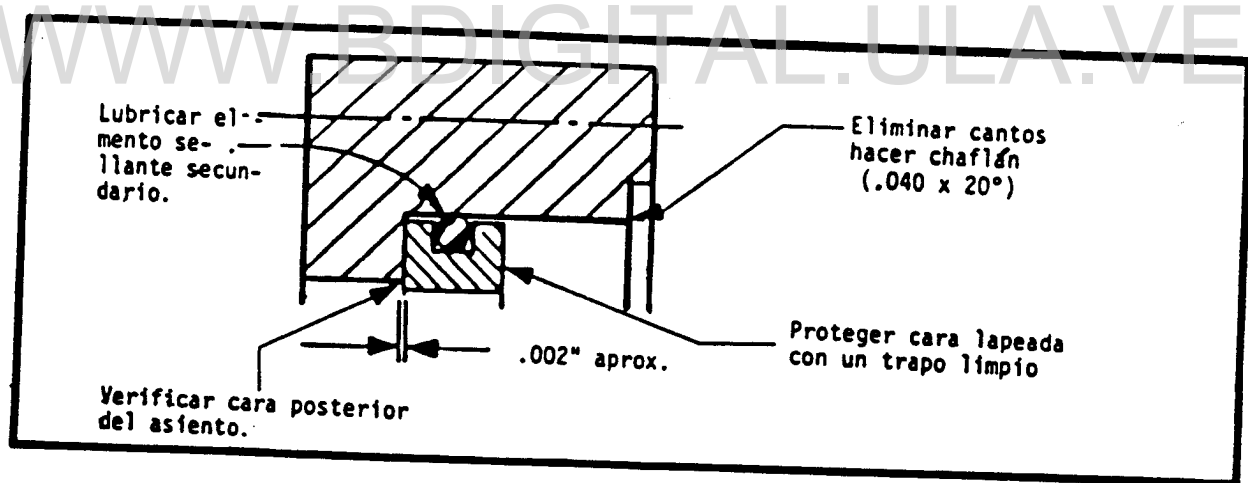


Figura 2.13.- Instalación del asiento

- Para la instalación de sellos mecánicos sin camisa y con collar de fijación, se debe tener en cuenta:
  - a.- Verificar que existe chaflán en el eje donde se va a instalar el sello. El chaflán debe ser de 0.040 x 20 pulg. o un radio de 1/16".
  - b.- Montar la brida con el asiento en el eje
  - c.- Verificar el acabado del eje
  - d.- Lubricar el interior del sello con aceite delgado, glicol de etileno o agua jabonosa. Deslizar el sello sobre el eje, aplicando la fuerza sobre el fuelle solamente para que pueda deslizarse, no en las partes metálicas. Localizar el conjunto rotativo, colocando el resorte en su posición. (Figura 2.14).

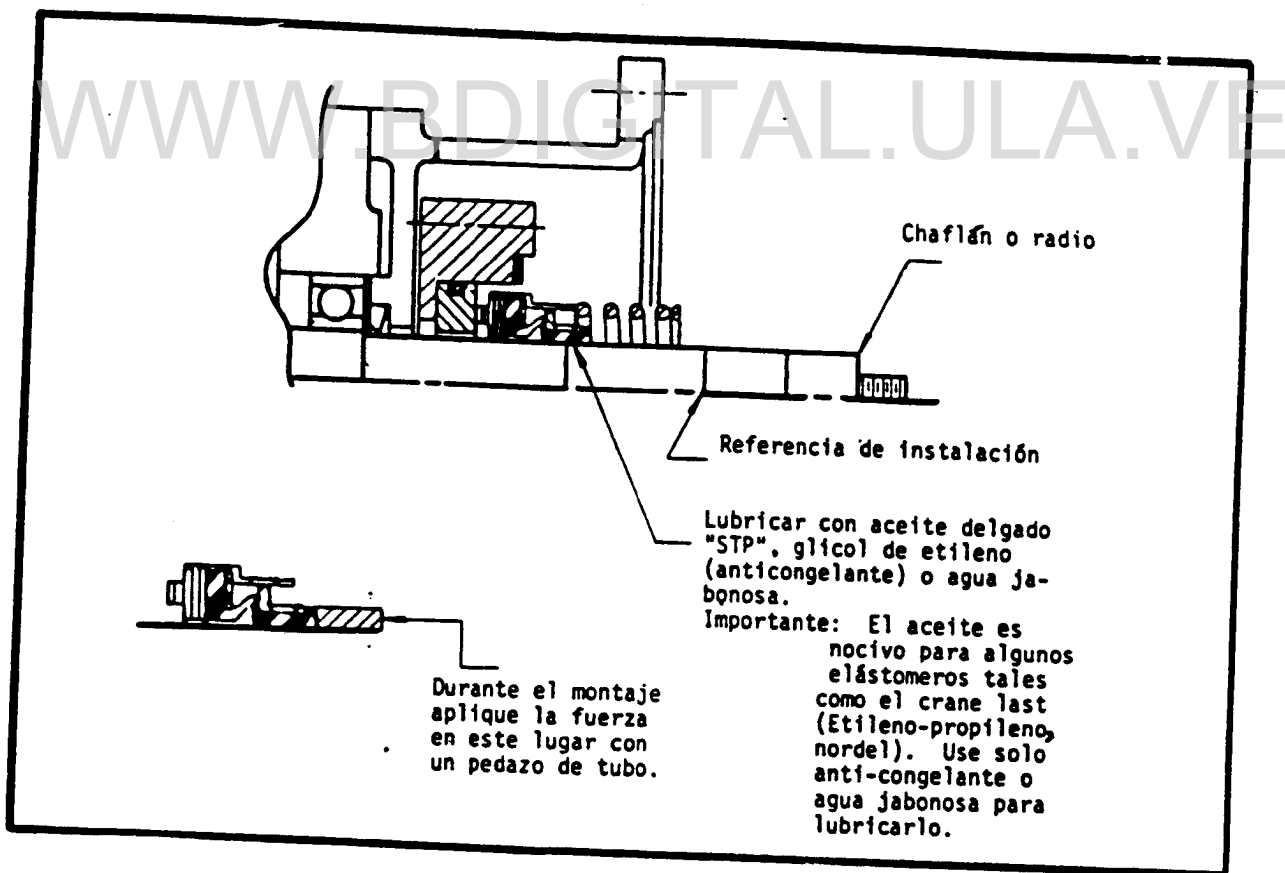


Figura 2.14.- Instalación de sello sin camisa y con collar de fijación

e.- Después de instalar la brida con el asiento, el cabezal rotativo y el resorte, montar el collar de fijación (Figura 2.15), haciéndolo coincidir en su parte posterior con la línea de referencia de instalación. Luego apretar los tornillos, verificando que los mismos no tengan posibilidad de soltarse.

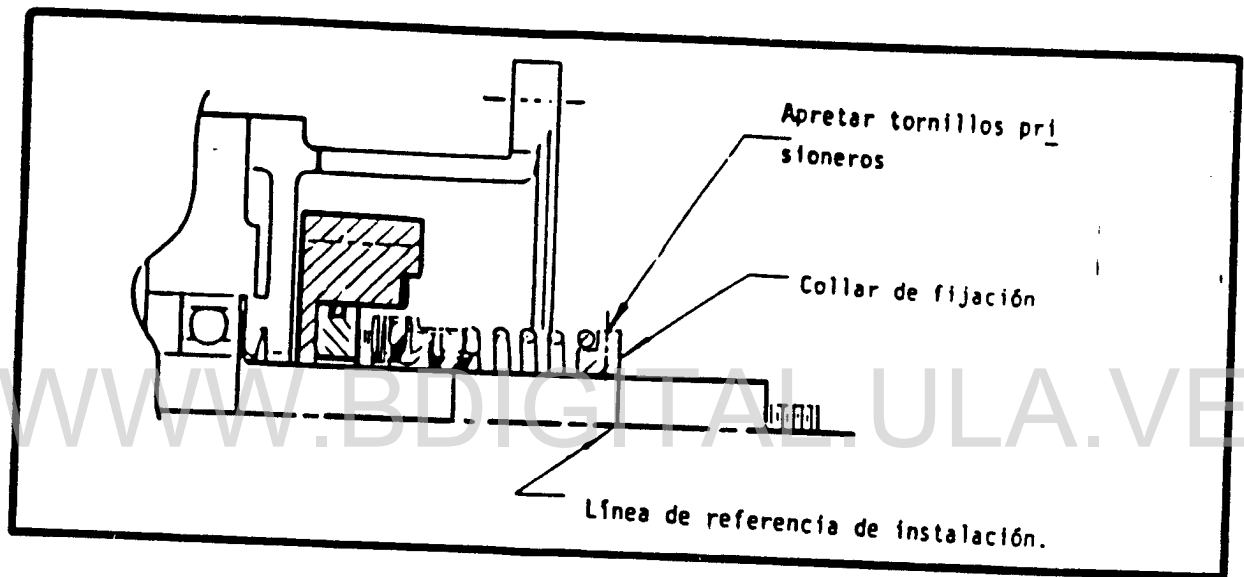
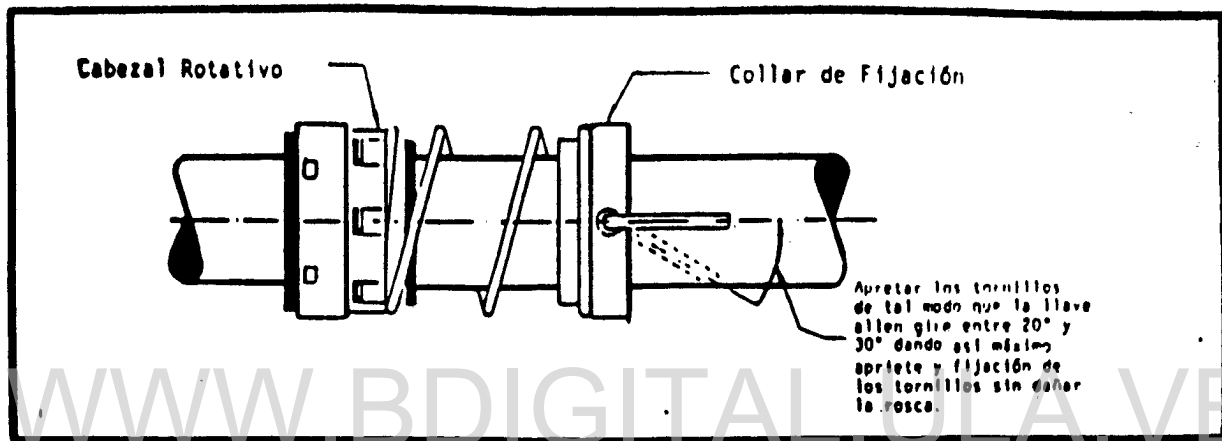


Figura 2.15.- Instalación del collar de fijación

- Los tornillos deben ser apretados de tal modo que la llave (en el caso de tornillos Allen) gire entre  $20^{\circ}$  y  $30^{\circ}$ , después que estos toquen el eje, para garantizar que estén lo suficientemente apretados.

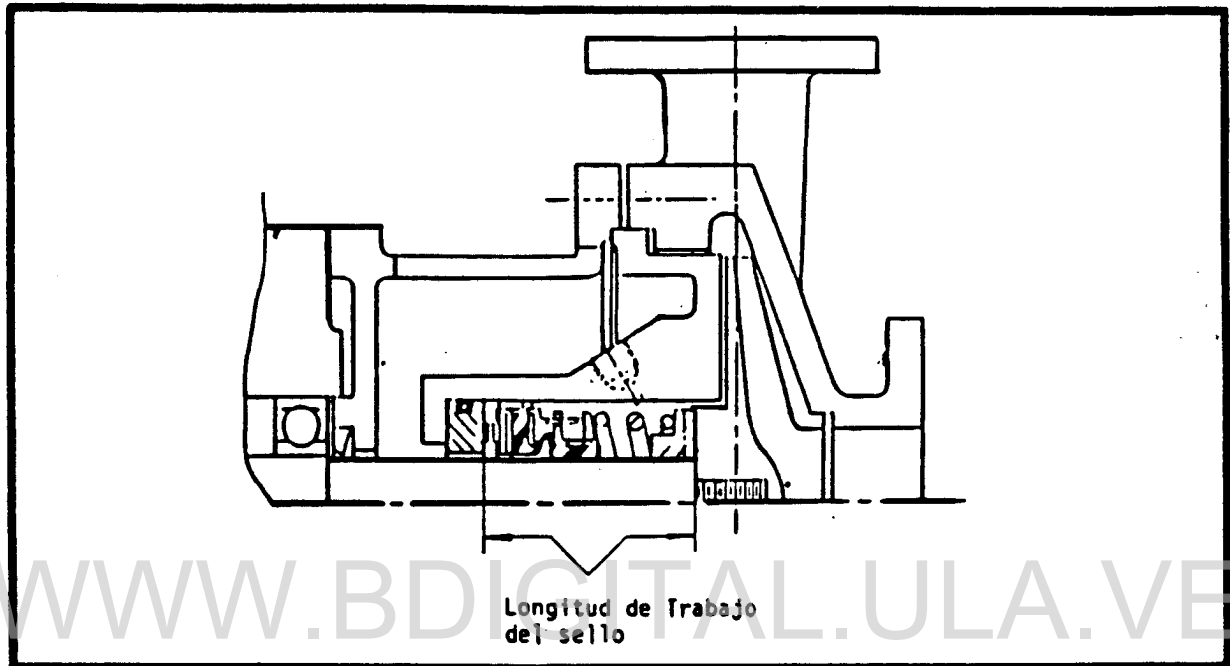
Verificar que la rosca no esté dañada, si este es el caso repararla con un macho, no forzar la rosca, esto puede dar lugar a que los tornillos no aprieten correctamente el collar al eje, por lo que podría soltarse durante el servicio y originar fugas y daños eventuales en el sello. (Figura 2.16)



**Figura 2.16.- Procedimiento para apretar los tornillos**

- En algunas construcciones de bombas (sin buje de garganta) para la instalación del sello, se diseña el montaje de tal manera que la línea de referencia de instalación, coincida con el escalón del eje donde topa con el impulsor, por lo tanto es éste quien sirve de soporte al sello.

El asiento se instala al fondo de la cavidad del sello, quedando la longitud de trabajo del sello desde la cara lapeada del asiento hasta el impulsor. (Figura 2.17)



**Figura 2.17.- Longitud de trabajo del sello**

- En muchos casos para la instalación del sello mecánico, es necesario que ésta se haga sobre una camisa, generalmente se diseña con un resalte que sirve de tope al sello, en el punto donde se debe marcar la línea de referencia de instalación, de tal manera que no necesita collar de fijación.

Cuando la camisa no tiene ningún resalte, la instalación se efectúa de manera similar a la instalación sin camisa, con la excepción de que las líneas de referencia e instalación, se hacen sobre la camisa y no sobre el eje, el cabezal rotativo con el resorte y el collar de fijación se montan en la camisa, fuera de la bomba, luego todo el conjunto se instala en el eje.

## **2.6.- FALLAS EN LOS SELLOS MECANICOS**

### **2.6.1.- Antecedentes**

Las estadísticas llevadas en la Refinería Puerto La Cruz, por el Departamento de Mantenimiento Preventivo, revelan que mensualmente ocurren aproximadamente 20 fallas, de las cuales el 79.6% son en bombas, y en éstas el 45.1% son debidas a los sellos mecánicos, 28.6% a rodamientos y el restante a otras causas.

Un sello mecánico se considera haber fallado cuando la fuga llega a un nivel excesivo, las causas más comunes de fallas en sellos mecánicos incluyen:

- 1.- El mal manejo de los componentes del sello, permitiendo que se quiebren, arañen o dañen antes de instalarse.
- 2.- Ensamble incorrecto del sello, esto incluye colocar mal o instalar fuera de secuencia apropiada, en la caja estopero al sello.
- 3.- Selección impropia del diseño, esto consiste en la selección de materiales o diseño, no adecuados para la combinación de presiones, temperaturas, revoluciones y productos químicos en una aplicación dada.
- 4.- Procedimientos impropios de arranque y de operación, esto podría incluir la falla de no presurizar un sello doble antes de arrancar la bomba, u operando un sello sin lubricación.
- 5.- Contaminación del líquido, incluye la presencia de abrasivos y sólidos en el líquido, que están alrededor del sello.
- 6.- Malas condiciones del equipo, aquí el problema podría ser el desalineamiento o desviación del eje, o vibración, cuando son excesivos para la función propia del sello mecánico.

## **2.7.- METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE FALLAS**

El objetivo del análisis de falla consiste en obtener conocimientos adicionales con ellas. Hay que observar con cuidado las piezas gastadas y dañadas del sello, las condiciones del equipo y las de funcionamiento para establecer una lista de medidas que aumenten la duración de los sellos.

El análisis de piezas gastadas (Ver anexo No. 3, Fallas comunes en las caras de Sellos Mecánicos) consiste en identificar si los daños son por acción química, mecánica o térmica, y tomar las medidas para que no se repitan. Se puede mejorar la habilidad para el análisis de falla si se observan las formas básicas de daños y para determinar:

1. El aspecto que tienen los daños

2. Como influyen los daños en el funcionamiento del sello

3. Que tipos de daños indican el historial de funcionamiento del sello

4. Que medidas correctivas se pueden tomar para evitar la repetición de los daños en las mismas condiciones de funcionamiento.

Como metodología para el análisis de falla, se puede seguir los siguientes pasos:

**1.- Visualizar síntomas**

- a. Registros de la bomba e historia del sello
- b. Condiciones de diseño de la bomba
- c. Condiciones de operación actual
- d. Partes de la bomba
- e. Partes del sello

**2.- Formular una conclusión lógica que explique los síntomas**

**3.- Elaborar recomendaciones**

**4.- Implementar cambios**

**5.- Monitorear o chequear funcionamiento del sello**

Para la realización de un fácil y rápido estudio de fallas en sellos mecánicos, se presenta a continuación un flujograma, que permite detectar las causas de falla y la acción correctiva a tomar en cada caso.



### III.- EMPAQUETADURAS

#### **INTRODUCCION**

Las empaquetaduras son elementos diseñados para ser instalados de forma dinámica, para cubrir el espacio libre entre el eje y la caja de una bomba. La finalidad del uso de las empaquetaduras es la de minimizar el escape de fluido de la zona interna al lado exterior de la unidad, cuando la presión interna es mayor que la atmosférica, como también la de evitar la penetración de aire cuando la presión interior de la bomba es menor a la presión atmosférica. [3]

Los elementos que constituyen un sistema de empaque son:

- Caja de empaque
- Casquillo o prensa empaque
- Camisa o manga
- Anillo linterna
- Buje de la caja de empaque

#### **Caja de Empaque**

Es un hueco cilíndrico en cuyo interior se alojan varios anillos de empaquetaduras, que van alrededor de la camisa o eje. Tiene la función principal de proteger la bomba contra los escapes en los puntos en que el eje atraviesa la carcasa, cuando se trata de bombas cuya presión interior es mayor que la atmosférica y si la presión interior de la bomba es inferior a la atmosférica, evita la entrada de aire a la bomba como sucede en una bomba de vacío.

## **Casquillo o Prensa Empaque**

Es un elemento que le da el ajuste deseado a la empaquetadura en dirección axial al eje, estos prensa empaque pueden tener varias formas, pero básicamente se pueden clasificar de dos maneras:

- Prensa empaque sólido
- Prensa empaque dividido

## **Camisa o Manga**

La camisa es un accesorio que va montado en el eje de la bomba, en el espacio donde se coloca la empaquetadura y su función es la de proteger al eje evitando la corrosión, erosión y desgaste que puedan afectar su eficiencia. También cumple la función de proteger el eje del desgaste, producido por el empaque.

## **Anillo linterna**

Es un anillo acanalado con huecos radiales, que ajusta holgadamente en la caja prensa estopa. Este anillo se coloca en la caja de empaque y divide a la empaquetadura en dos secciones, a través del cual se introduce a presión, agua o algún otro líquido obturador, que actúa como un sello, el cual no permite que penetre aire hacia el interior de la bomba y proporciona un depósito de agua o algún otro fluido para enfriar y lubricar el empaque.

## **Buje de la caja de empaque**

Es una pieza desmontable, que forma el fondo de la caja de empaque en algunas bombas centrífugas. Se usan en las bombas para limitar el espacio entre la carcasa y el eje, en el fondo de la caja para empaques.

### **3.1.- CLASIFICACION DE LAS EMPAQUETADURAS**

**3.1.1.- Según su forma:** Se clasifican en tres grandes grupos: [5]

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

- **Tipo comprimido:** Incluyen cualquier tipo de empaque, que se coloca en una caja de prensa estopas y se ajusta de cuando en cuando, apretando el prensa empaque.

- **Tipos automáticos:** Llamado así debido a que no requieren ajuste en el prensa estopas. En este caso, el fluido sellado suplente la presión requerida al forzar el empaque contra la superficie de desgaste.

- **Tipos flotantes:** Estos incluyen los anillos segmentarios de carbón, metal, plástico, etc., que son mantenidos contra el cilindro o alrededor del eje por medio de resortes.

**3.1.2.- Según su origen:** se clasifican en tres grupos básicos

**Empaquetaduras Metálicas (M):** Son para aplicaciones en bombas centrífugas y los materiales más comunes son: plomo, aluminio y cobre en forma de cintas delgadas arrolladas en espiral para proveer flexibilidad y depósitos de lubricantes.

**Ventajas:** Alta disipación de calor, forman el buje más perfecto entre todas las empaquetaduras conocidas y permiten una regulación de fuga constante, sin necesidad de ajustes frecuentes, costo razonable.

**Desventajas:** Poco poder de recuperación, por lo que su uso está limitado a bombas operando en correcto alineamiento y libre de vibración excesiva.

**Empaquetaduras Plásticas (P):** Construcción en mezcla homogénea a base de fibras de asbestos, grafito, aceites y aglutinantes especiales; algunos tipos incorporan partículas metálicas antifricción.

**Ventajas:** Fácil conformación y excelente flexibilidad, a través de su desgaste siguen presentando la misma composición antifriccionante contra el eje y se adaptan a sus irregularidades, sin crear excesivo calor por fricción, excelentes en bajas presiones, son económicas.

**Desventajas:** Baja resistencia a la presión, se obstruyen por los claros entre el eje y la caja de estoperos y requieren frecuentes ajustes para regular la fuga.

**Empaquetaduras de fibras o filamentos tejidos (F):** Clasificadas en fibras vegetales, de asbesto, de TFE (Politetrafluoruroetileno) y de grafito.

**De fibras vegetales:** incluyen fibras de lino, yute o algodón trenzadas y lubricadas

**Ventajas:** Bajo costo, facilidad de instalación contra ejes de bronce y en servicios de agua fría o similares.

**Desventajas:** Sus lubricantes son lavados y arrastrados por el fluido en operación, soportan muy poco calor por fricción y por lo tanto debe permitirse mayor fuga.

**De fibras de asbesto:** Existen dos clases de esta fibra mineral resistente a alta temperatura; el común asbesto blanco o Canadiense y el asbesto azul o africano. Este último es más áspero y abrasivo, pero tiene superior resistencia a los ácidos.

**Ventajas:** Resistencia a la temperatura generada por fricción, adaptables y flexibles con muy poca variación de su volumen, en los diferenciales de temperatura de operación, son económicos.

**Desventajas:** A través de su operación, sus lubricantes e impregnantes son arrastrados por el fluido, presentan entonces una superficie abrasiva, que desgasta al eje ó a la camisa.

**De TFE (Politetrafluoruroetileno):** Dadas sus relevantes propiedades, resistencia al calor (260 °C máximo), su bajísimo coeficiente de fricción y su casi total inatacabilidad química, el TFE se ha convertido en uno de los materiales de empaque de mayor uso en la industria. Lamentablemente, su baja conductividad térmica limita su uso, ya que debido al calor generado por la alta velocidad periférica del eje, esta sobrepasa la resistencia del TFE y lo degenera y carboniza.

**Ventajas:** Químicamente inerte, permite operar productos altamente corrosivos, no produce ninguna contaminación al producto manejado y tiene bajo coeficiente de fricción.

**Desventajas:** Disipación de calor casi nula, su volumen es variable, en cambios de temperatura dificulta el control de fugas, es de alto costo.

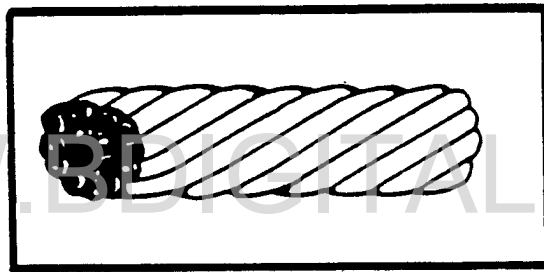
**De Grafito:** Fabricadas totalmente de filamento o escamas laminadas de grafito puro, combinan propiedades de inercia química, alta resistencia a temperatura, bajo coeficiente de fricción y excelente conductividad térmica.

**Ventajas:** Alta resistencia a la temperatura, virtualmente inertes al ataque químico, magnífica disipación de calor.

**Desventajas:** Muy alto costo, no resisten oxidantes fuertes.

**3.1.3.- Según el tipo de tejido:** Pueden clasificarse en torcidos y trenzados. Los trenzados se dividen en: cuadrados, retrenzados y entrelazados.

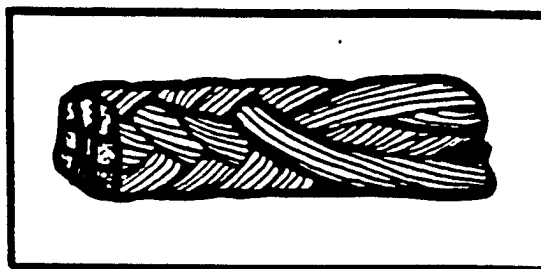
**Torcidos:** Es uno de los empaques más sencillos. Se hace con fibra torcida y se usa comúnmente para vástagos de válvulas pequeñas. La ventaja de esta construcción estriba en su flexibilidad. (Figura 3.1).



**Figura 3.1.- Empaquetadura tipo Torcido**

**Trenzado:** Es el que tiene la más amplia gama de uso. Puede ser hecho de algodón, asbesto, cáñamo, teflón, cobre, plomo y otros materiales.

- **Trenzado cuadrado:** Cada trenzado pasa por debajo y por arriba de otras que van en la misma dirección. Debido a que ninguna de las trenzas se une con las otras, las trenzas se pueden mover libremente y por consiguiente, pueden ajustarse al movimiento de las barras no uniformes y en especial, cuando la lubricación interna es continúa. (Figura 3.2).



**Figura 3.2.- Empaquetadura tipo Trenzado cuadrado**

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

**Retrenzado:** Lo constituyen una serie de tubos trenzados uno sobre el otro. La forma de este empaque es normalmente redondo, pero puede ser fabricado en forma cuadrada. Es un empaque denso y se utiliza para ejes que están en buenas condiciones y para servicios de presión elevada. (Figura 3.3).

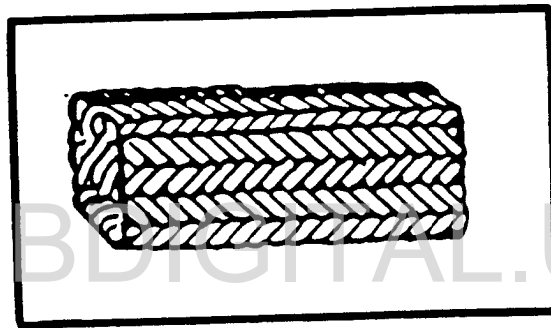


**Figura 3.3.- Empaquetadura tipo Retrenzado**

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

**Trenzado entrelazado:** Cada trenza pasa diagonalmente a través del cuerpo de empaque a un ángulo de  $45^{\circ}$ . constituye una estructura completamente unificada, trenzada interna y externamente. Cada trenza contribuye a la resistencia del conjunto. Una ventaja es que el desgaste no afloja las trenzas. Los aglutinantes para la mayoría de estos tipos son: el caucho natural o sintético, aceite mineral o grasos, cera ungüento blanco de petróleo, aceite de castor laca. En otros se utiliza aceite mineral de volatilidad alta o glicerina, jabón o mezcla de alguno de ellos. (Figura 3.4).



**Figura 3.4.- Empaquetadura tipo Trenzado entrelazado**

#### **3.1.4.- Selección y arreglos de acuerdo al tipo de fluido**

Las empaquetaduras que van a ser utilizadas en una bomba, deben ser seleccionadas de acuerdo a las condiciones de trabajo a que va a estar sometido el tipo de producto que se va a manejar. Se puede seleccionar un solo tipo de empaquetadura o una combinación de ellas, para lograr un sellado eficaz. (Ver anexo No. 4, Diferentes tipos de empaquetaduras).

Para seleccionar las empaquetaduras de acuerdo al tipo de fluido, debe conocerse el PH de éste, el cual indica el contenido de iones de Hidrógeno presentes, lo que determina si el líquido es un producto ácido, neutro o caústico.

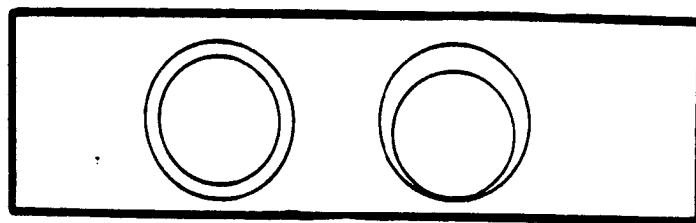
Los metales más comunes en las empaquetaduras, normalmente no están en condiciones de soportar fluidos con un PH mayor de 10 o menor de 4.

### **3.1.5.- Montaje de las empaquetaduras**

A continuación se describen una serie de pasos que deben seguirse para realizar un reempaque adecuado, con el fin de evitar fallas prematuras.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

1.- Verificar la concentricidad del eje en relación al diámetro interior de la caja de estoperos. (Figura 3.5)



**Figura 3.5.- Concentricidad del eje**

2.- Verificar la excentricidad en giro de la flecha, ésta no debe exceder 0.5mm (0.002") al diámetro. (Figura 3.6).

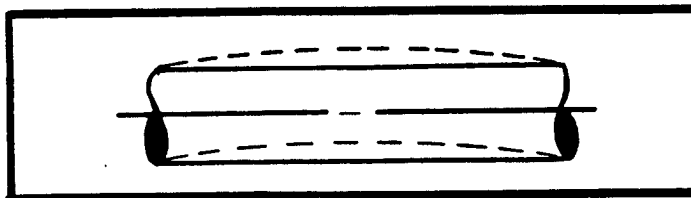


Figura 3.6.- Excentricidad en giro de la flecha

3.- La superficie de la flecha en el área de empaclado debe estar libre de rayados, corrosión o protuberancias. (Figura 3.7).



Figura 3.7.- Superficie de la Flecha

4.- Examinar el prensaestopa, el claro radial interior debe ser 0.4mm (0.015") máximo para prevenir la obstrucción de la empaquetadura y el claro radial exterior debe ser 0.25mm (0.010") máximo, para evitar que se apoye en la flecha. (Figura 3.8).

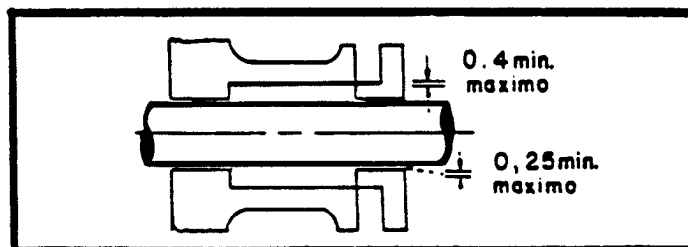
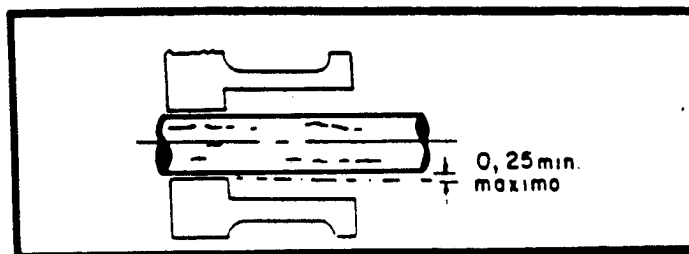


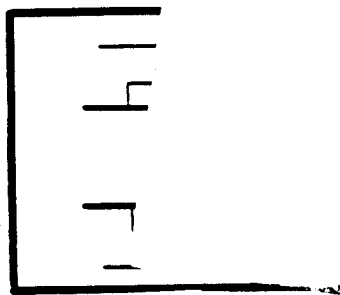
Figura 3.8.- Tolerancias entre el prensaestopas y el eje

5.- Verificar el claro entre el apoyo del fondo de la caja y la flecha, éste no debe ser mayor de 0.25mm (0.010") radialmente. Puede ser ventajoso el uso de un espaciador delgado, para cerrar el claro al fondo de la caja de estoperos y prevenir la obstrucción de la empaquetadura. (Figura 3.9).



**Figura 3.9.- Claro entre el apoyo del fondo de la caja y la flecha**

6.- Determinar el tamaño correcto del empaque a instalarse, medir el diámetro del hueco de la caja A, medir el diámetro del eje B. Restar el diámetro A menos el diámetro B y dividir entre dos. (Figura 3.10).



**Figura 3.10.- Tamaño correcto de la empaquetadura**

7.- De no contar con juegos preformados, colocar la empaquetadura alrededor de un eje o mandril del mismo diámetro y cortarlo según figura 3.11, trazando dos líneas paralelas, separadas por una distancia igual a la sección de la empaquetadura, para un corte a 45° y corte recto.

Si el empaque es un poco grande, nunca se debe aplastar con un martillo, colocar cada vuelta de anillo sobre una superficie limpia y hacer rotar un trozo de tubo a lo largo de ésta, como si fuese un rodamiento.

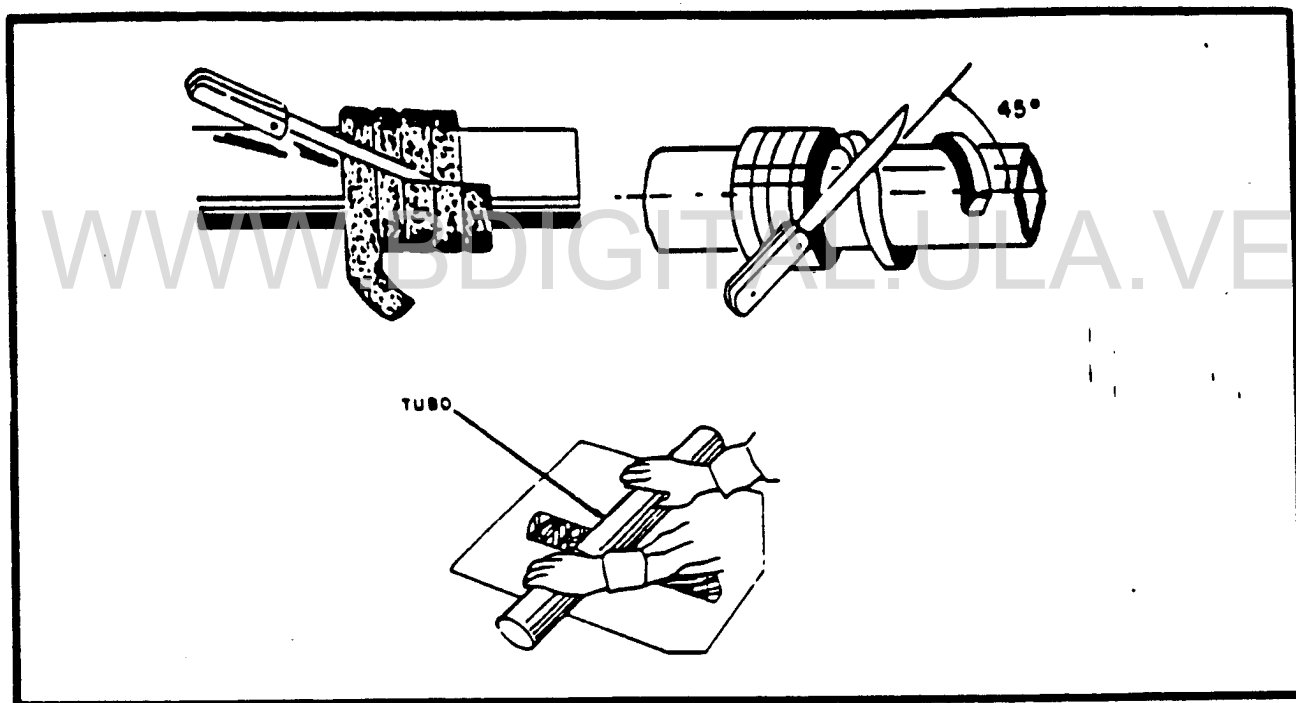
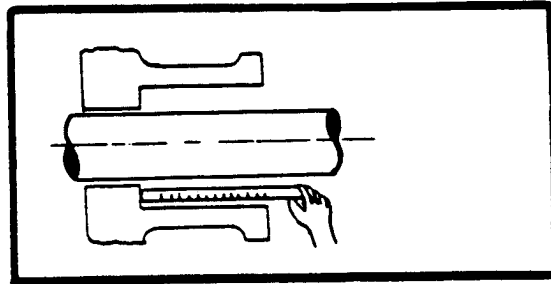


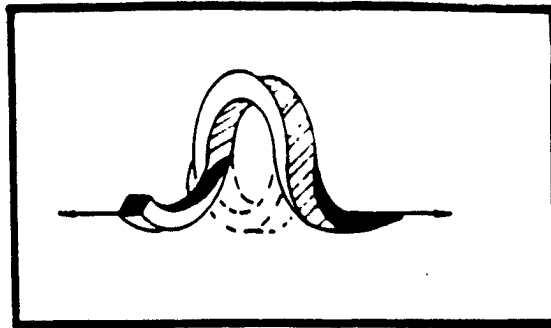
Figura 3.11.- Procedimiento de corte de empaquetaduras

8.- Medir la profundidad de la caja de estoperos para asegurarse de cuantos anillos de empaquetadura son requeridos, dejar espacio libre para la entrada y centrado del prensaestopas. (Figura 3.12).



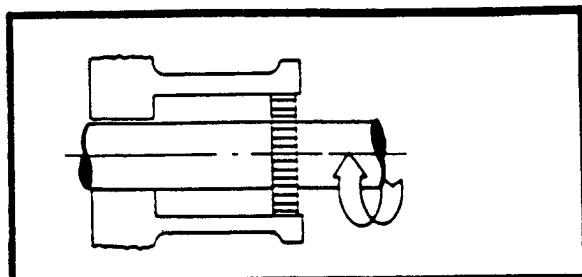
**Figura 3.12.- Profundidad de la caja de estoperos**

9.- Las empaquetaduras metálicas y plásticas deben abrirse para su instalación en sentido espiral, apartando sus puntas axialmente. Si esta abertura no es suficiente, puede hacerse un corte interior parcial a cada anillo de empaque. (Figura 3.13).



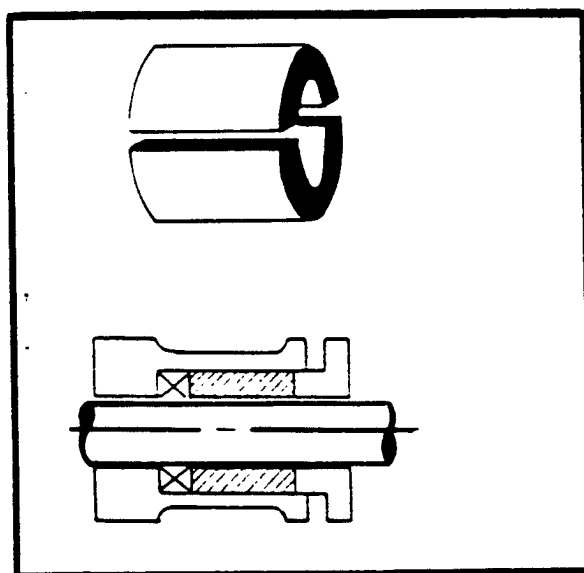
**Figura 3.13.- Instalación de empaquetaduras metálicas y plásticas**

10.- Verificar el primer anillo para asegurar su correcto ajuste, la flecha debe girar libremente. (Figura 3.14).



**Figura 3.14.- Ajuste del primer anillo**

11.- Instalar cada anillo individualmente con la ayuda de bujes bipartidos, guiarlos y asentarlos firmemente a su lugar, presionándolo con la ayuda del prensaestopas, recordar que los anillos del fondo serán los que reciban en operación la menor presión distribuida del prensaestopas, por tanto, deben presionarse con mayor firmeza. Si se usan empaquetaduras de multifilamento de TFE o grafito, deslizarlas a su lugar solamente, no las comprima. (Figura 3.15)

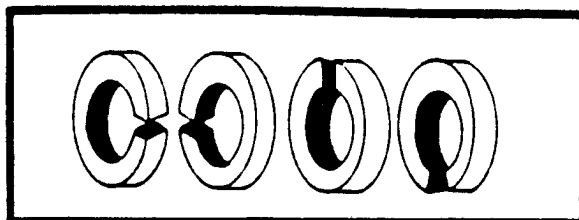


**Figura 3.15.- Instalación de cada anillo**

Licencia Creative Commons:

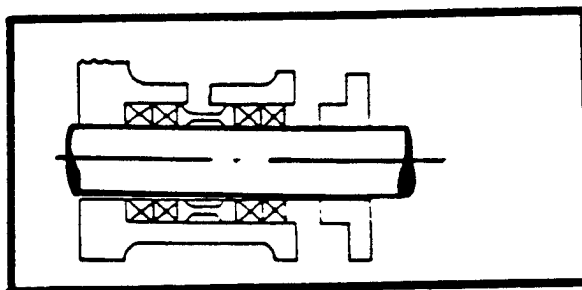
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

12.- Asegurarse que los cortes de los anillos queden girados a 120° uno a otro, para impedir fugas imprevistas. (Figura 3.16)



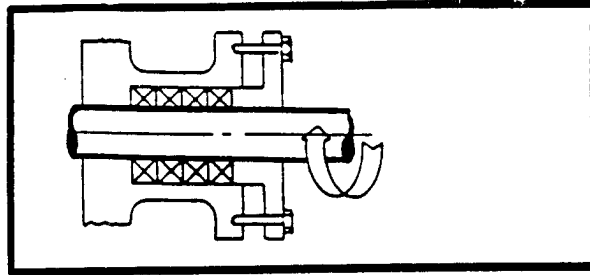
**Figura 3.16.- Corte de los anillos**

13.- Si la instalación incluye anillo linterna, éste debe ser posicionado directamente debajo del orificio de inyección, considerando la compresión y pérdida de volumen que absorberán los anillos del fondo. (Figura 3.17)



**Figura 3.17.- Instalación del anillo linterna**

14.- Posicionar el prensaestopas contra el último anillo de empaquetadura, verificar su encuadre y apretar las tuercas uniformemente y sólo a presión de dedos. Girar el eje y asegurarse que no roce en el diámetro interior del prensaestopas. (Figura 3.18).

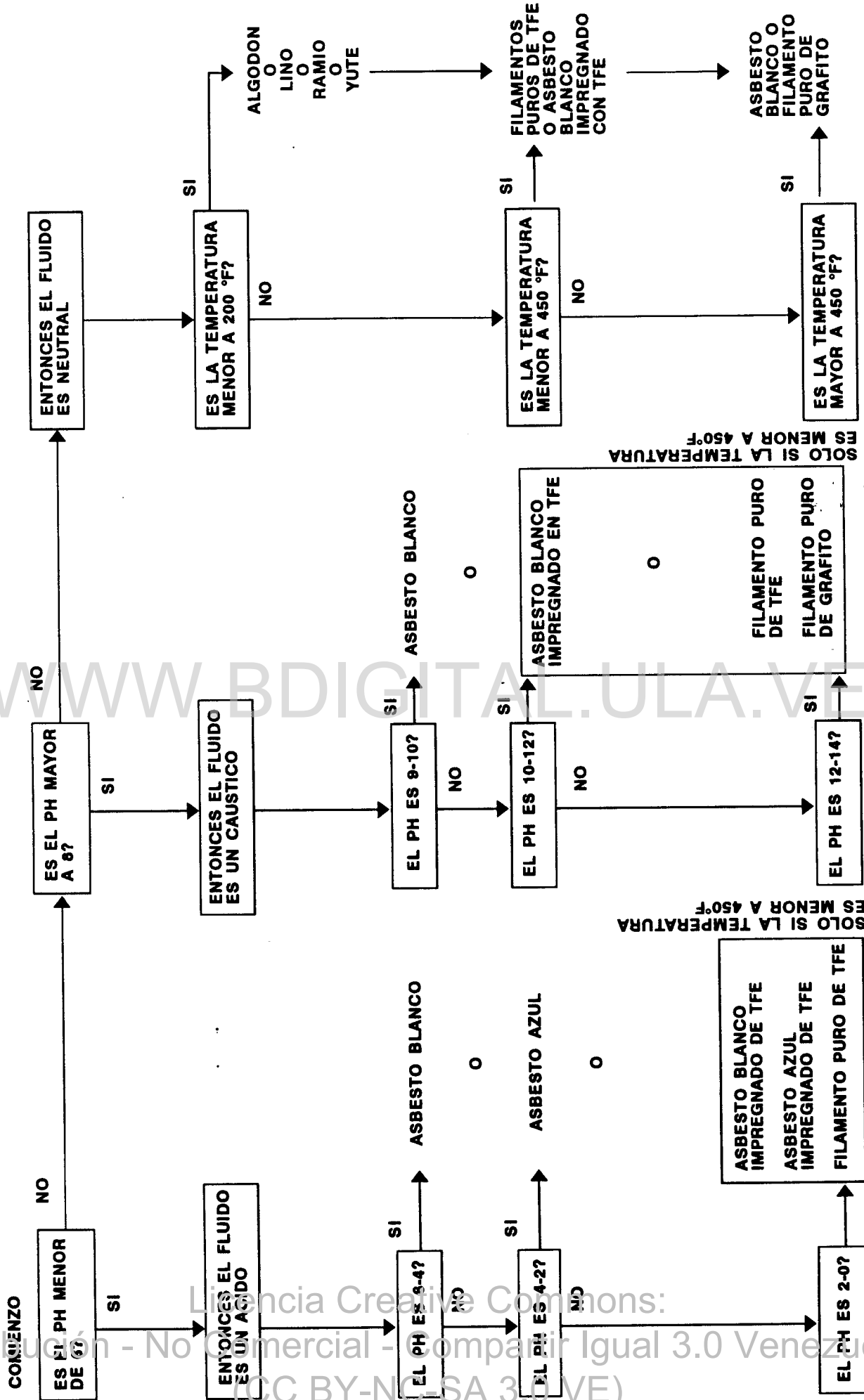


**Figura 3.18.- Instalación del prensaestopas**

### **3.2.- Selección de empaquetaduras**

A continuación se presentan dos flujogramas que servirán de mucha ayuda para la selección de empaquetaduras no-metálicas y para la selección de empaquetaduras según el fluido a sellar. Es muy conveniente para el personal tomar en cuenta la adecuada selección de las empaquetaduras ya que, de no hacerlo se obtendrían fugas no esperadas en los equipos con las consecuencias de pérdidas de producto manejado y riesgos a las instalaciones y al personal.

**SELECCION DE EMPAQUETADURAS NO-METALICAS**





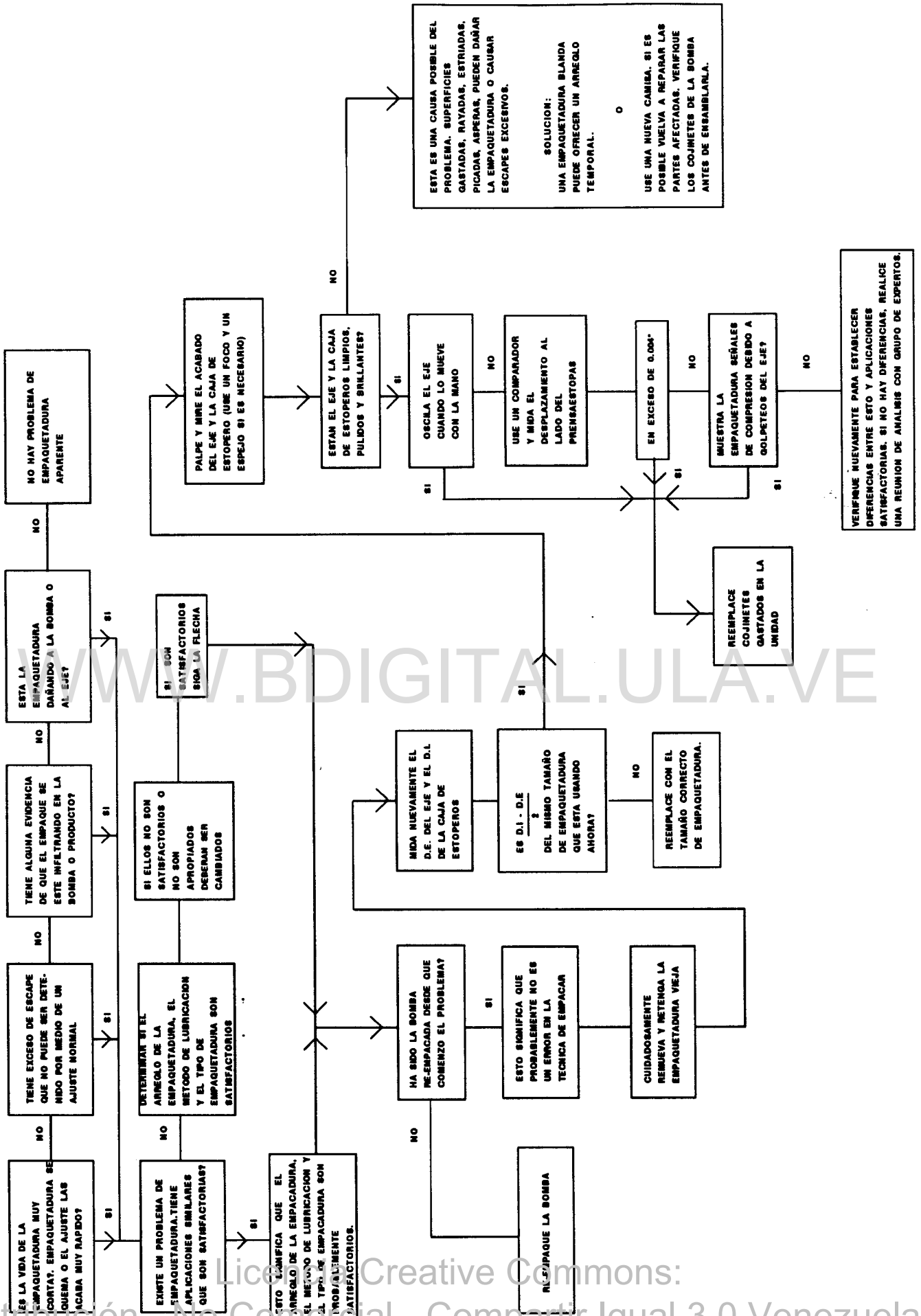
### **3.3.- Causas y soluciones en problemas típicos de empaquetaduras**

La empaquetadura que se saca de un estopero cuando se reempaca debe examinarse con el objeto de obtener toda la información que sea posible para la causa del desgaste del empaque. El flujograma siguiente (Causas y soluciones en problemas típicos de empaquetaduras), presenta un método sencillo y rápido de diagnosticar la causa de desgaste de la empaquetadura y la acción a tomar para evitar las fallas recurrentes.

Otra causa de falla en empaquetaduras es también la forma de instalación, es decir, el momento en que se extrae o reempaca la unidad o bomba. Anexo se presenta un flujograma para el procedimiento de reempaque de un equipo, que consta de cuatro fases, a saber: Fase de Preparación, Fase de Extracción, Fase de Reempaque y Fase de Arranque y Ajuste. Este flujograma contribuirá a evitar las fallas en empaquetaduras por mala instalación, preparación o extracción de las mismas.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

# CAUSAS Y SOLUCIONES EN PROBLEMAS TIPICOS DE EMPAQUETADURA



ESTA ES UNA CAUSA POSIBLE DEL PROBLEMA. SUPERFICIES GASTADAS, RATADAS, ESTRIBADAS, PICADAS, ASPERAS, PUEDEN DAÑAR LA EMPAQUETADURA O CAUSAR ESCAPES EXCESIVOS.

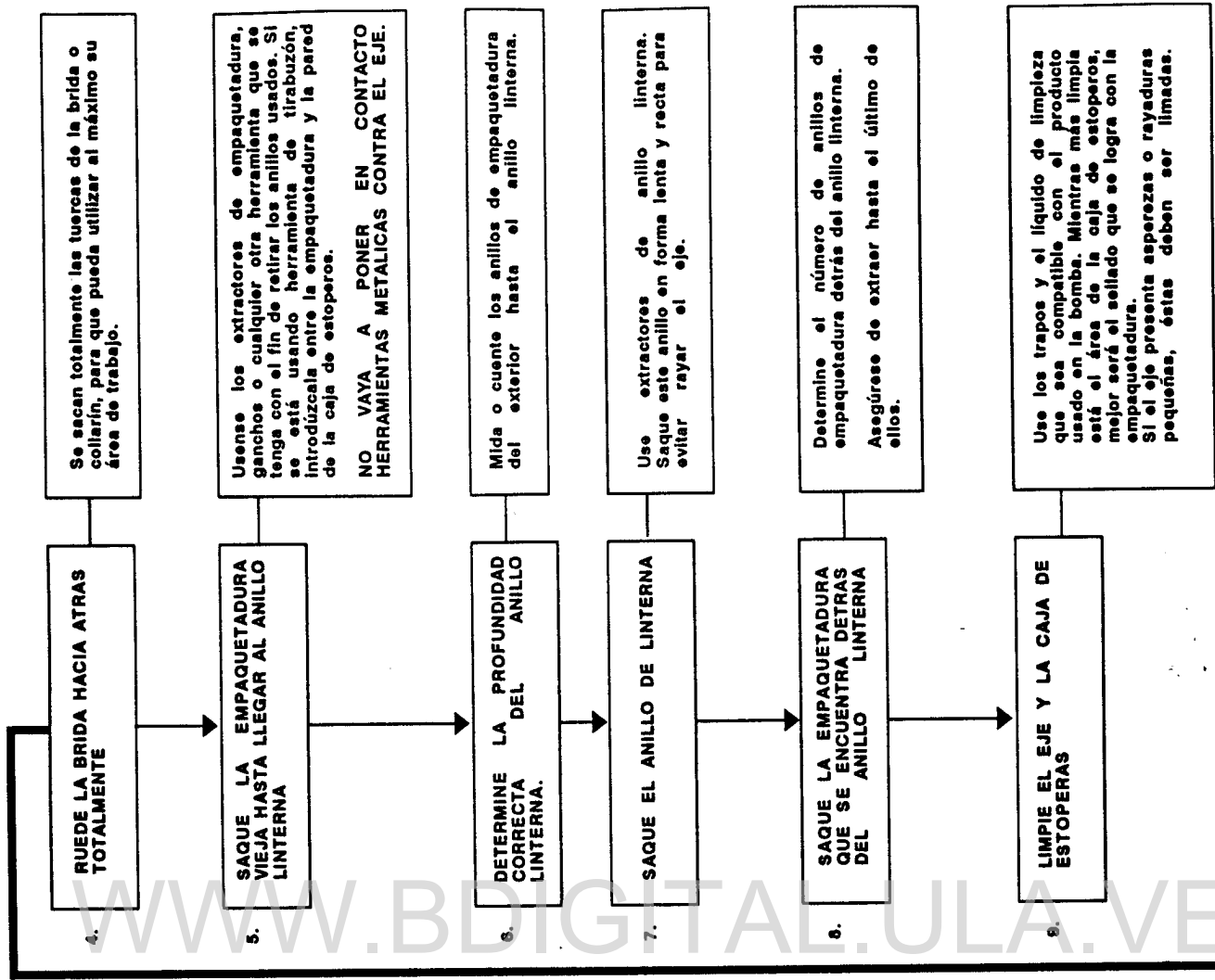
SOLUCION:  
UNA EMPAQUETADURA BLANDA PUEDE OFRECER UN ARRREGLO TEMPORAL.

O

USE UNA NUEVA CAMISA. SI ES POSIBLE VUELVA A REPARAR LAS PARTES AFECTADAS. VERIFIQUE LOS COJINETES DE LA BOMBA ANTES DE ENSAMBLARLA.

VERIFQUE NUEVAMENTE PARA ESTABLECER DIFERENCIAS ENTRE ESTO Y APLICACIONES SATISFACTORIAS. SI NO HAY DIFERENCIAS, REALICE UNA REUNION DE ANALISIS CON GRUPO DE EXPERTOS.

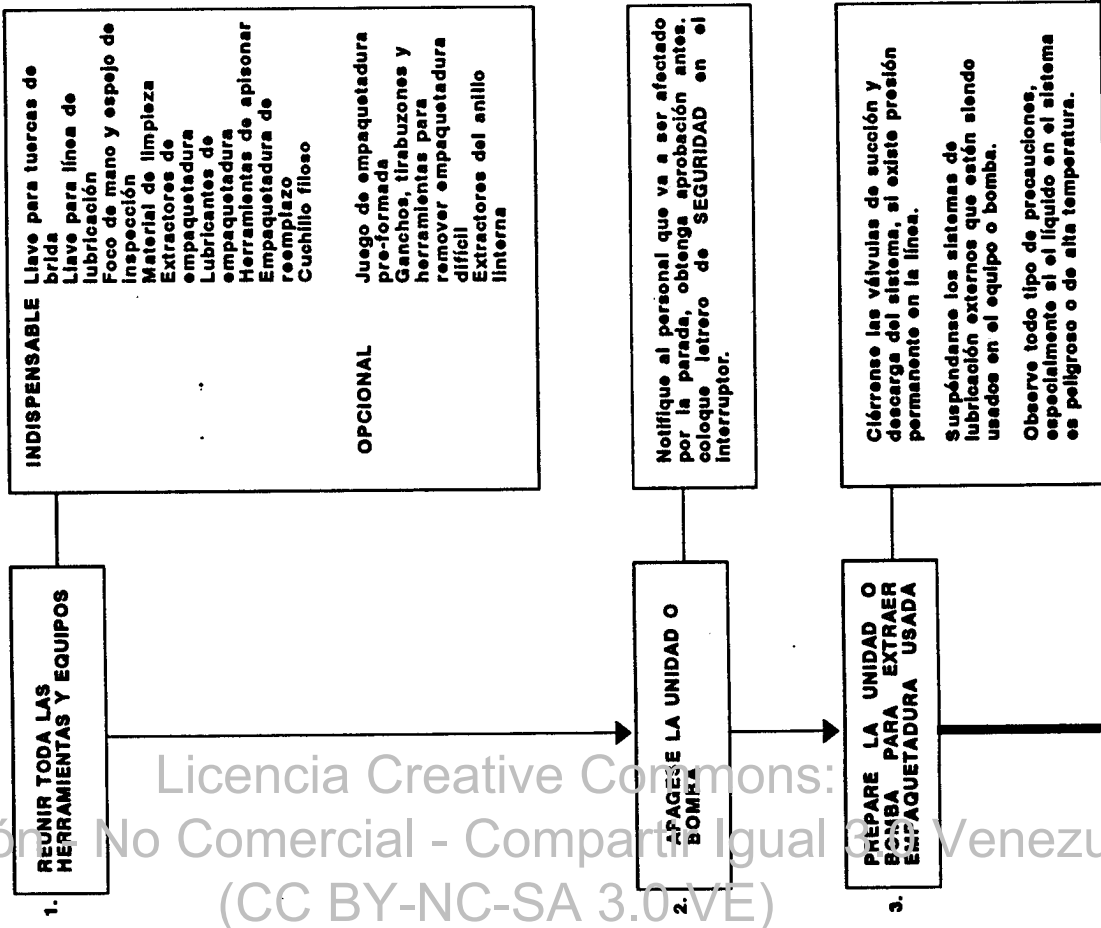
# PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPAQUE DE UN EQUIPO



FASE DE EXTRACCION

## HERRAMIENTAS, METODOS Y TECNICAS A USAR

### ETAPAS DEL PRODEDIMIENTO



FASE DE PREPARACION

**INDISPENSABLE** Llave para tuercas de brida  
Llave para línea de lubricación  
Foco de mano y espejo de inspección  
Material de limpieza  
Extractores de empaquetadura  
Lubricantes de empaquetadura  
Herramientas de episonar reemplazo  
Cuchillo filoso

**OPCIONAL** Juego de empaquetadura pre-formada  
Ganchos, tirabuzones y herramientas para remover empaquetadura difícil  
Extractores del anillo linterna

Notifique al personal que va a ser afectado por la parada, obtenga aprobación antes, coloque letrero de **SEGURIDAD** en el interruptor.

Ciérrense las válvulas de succión y descarga del sistema, si existe presión permanente en la línea.  
Suspendanse los sistemas de lubricación externos que estén siendo usados en el equipo o bomba.  
Observe todo tipo de precauciones, especialmente si el líquido en el sistema es peligroso o de alta temperatura.

Se sacan totalmente las tuercas de la brida o collarín, para que pueda utilizar al máximo su área de trabajo.

Use los extractores de empaquetadura, ganchos o cualquier otra herramienta que se tenga con el fin de retirar los anillos usados. Si se está usando herramienta de tirabuzón, introduzca entre la empaquetadura y la pared de la caja de estoperas.

**NO VAYA A PONER EN CONTACTO HERRAMIENTAS METALICAS CONTRA EL EJE.**

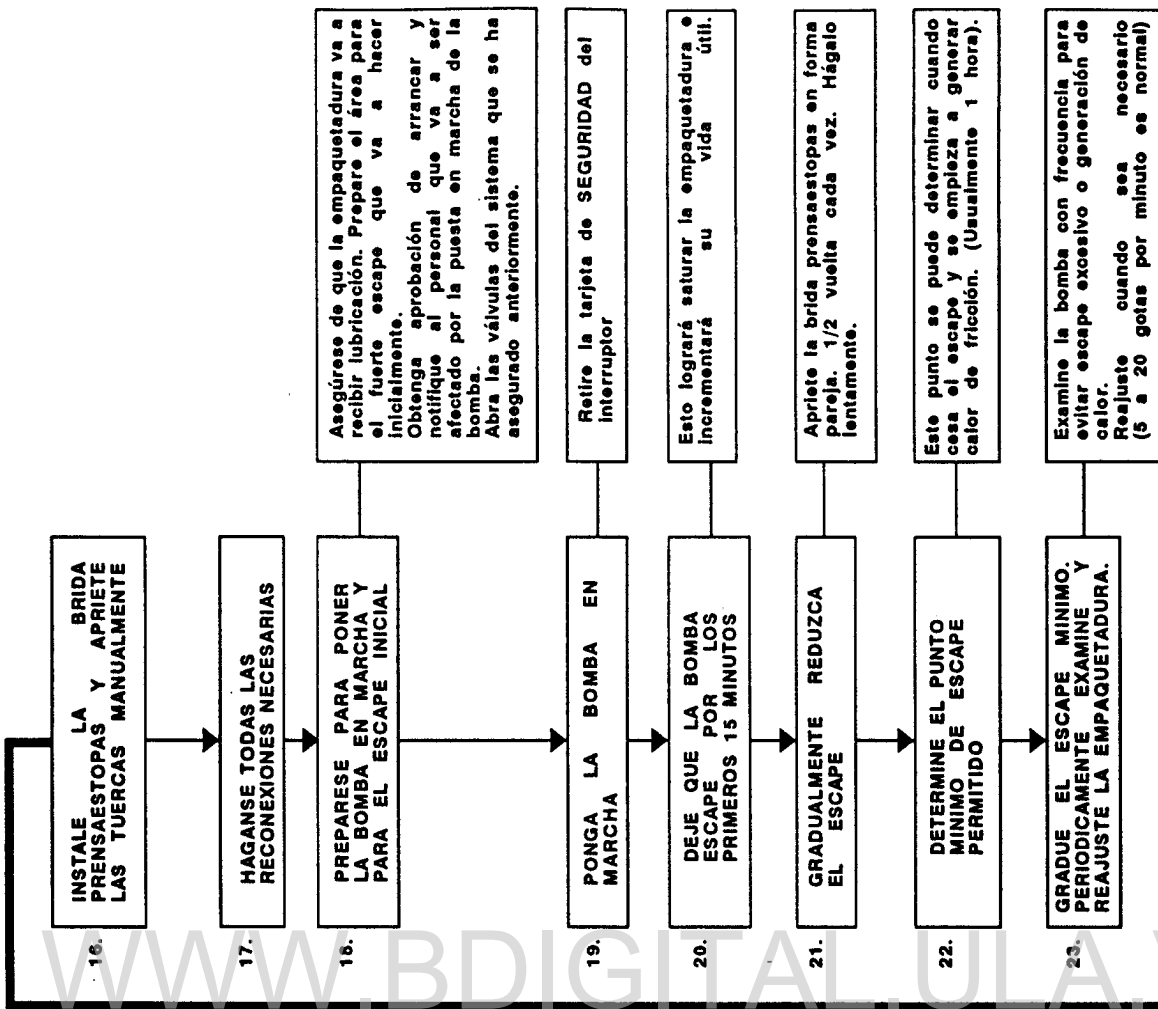
Mida o cuente los anillos de empaquetadura del exterior hasta el anillo linterna.

Use extractores de anillo linterna. Saque este anillo en forma lenta y recta para evitar rayar el eje.

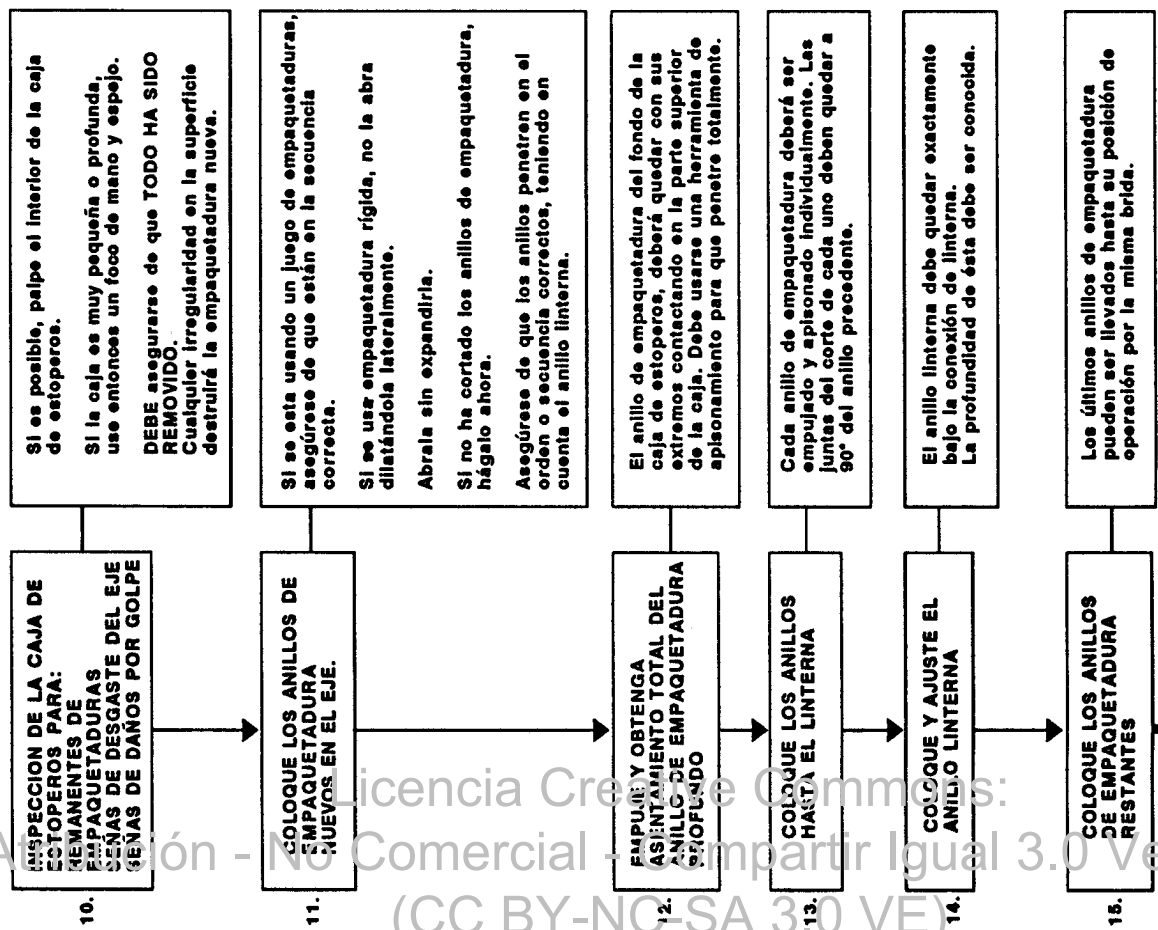
Determine el número de anillos de empaquetadura detrás del anillo linterna. Asegúrese de extraer hasta el último de ellos.

Use los trapos y el líquido de limpieza que sea compatible con el producto usado en la bomba. Mientras más limpia está el área de la caja de estoperas, mejor será el sellado que se logra con la empaquetadura. Si el eje presenta asperezas o rayaduras pequeñas, éstas deben ser limadas.

# PROCEDIMIENTO PARA EL REEMPAQUE DE UN EQUIPO (CONT.)



## FASE DE ARRANQUE Y AJUSTE

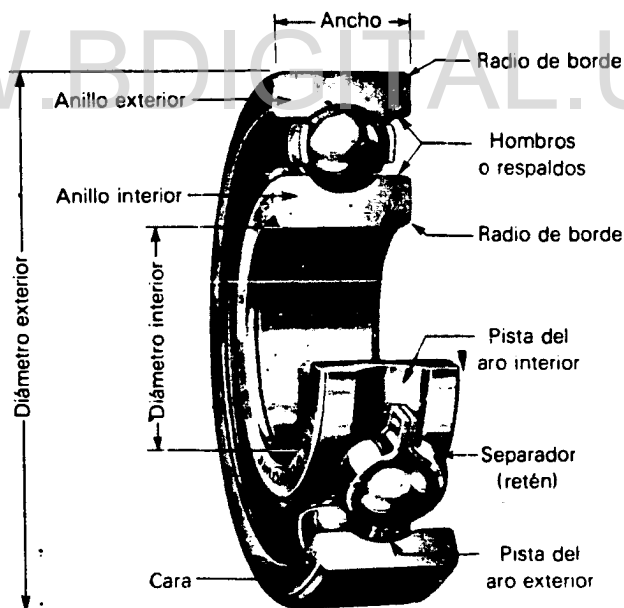


## FASE DE REEMPAQUE

## IV.- RODAMIENTOS

### INTRODUCCION

Los cojinetes de contacto rodante ó rodamientos se proyectan para soportar y ubicar los ejes o partes que giran en las máquinas. Transfieren las cargas entre los miembros rotatorios y estacionarios y permiten la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción. Constan de **elementos rodantes (bolas o rodillos)** entre un **anillo exterior** y un **anillo interior**. Se usan las **jaulas** para interponer espacio entre los elementos rodantes. En la figura 4.1, se ilustra la terminología común usada en la descripción de los rodamientos. [5]



**Figura 4.1.- Terminología de rodamientos**

**Anillos.** Los anillos interior y exterior del rodamiento, están hechos normalmente de acero SAE 52100 endurecido, de 60 a 70 Rockwell C. El canal de rodadura del elemento rodante está rectificado exactamente dentro de los anillos con un acabado muy fino ( 16  $\mu$ pulg o menos).

Los anillos se fabrican para propósitos especiales en materiales como acero inoxidable, cerámica y plásticos. Estos materiales se usan en las aplicaciones en que la corrosión es un problema.

**Elementos rodantes.** Los elementos rodantes, bolas o rodillos, se hacen normalmente del mismo material y tienen el mismo acabado que los anillos. Otros materiales para elementos rodantes como el acero inoxidable, cerámica, monel y plásticos, se usan junto con los distintos materiales para anillos en que la corrosión es un problema.

**Jaulas.** Las jaulas, llamadas algunas veces separadores o retenes, se emplean para proveer espacios entre los elementos rodantes. Las jaulas se proporcionan en una amplia variedad de materiales y de construcción. Las jaulas de acero prensado, de remaches o remachadas, son muy comunes. Las jaulas sólidas maquinadas se usan donde se requieren mayores resistencias o altas velocidades. Se fabrican de bronce o de materiales del tipo plástico sintético. A altas velocidades, el tipo sintético trabaja más silenciosamente y con mínima fricción. Los rodamientos sin jaula se denominan complemento pleno.

Una amplia variedad de rodamientos se fabrican normalmente para dimensiones dentro de norma (diámetro interno, diámetro externo, ancho) y las tolerancias que la AFBMA ha normalizado. Todos los fabricantes de rodamientos siguen estas normas, lo que permite de ese modo la intercambiabilidad. El ANSI ha adoptado estas normas en su mayor parte y las ha publicado como sigue:

Plan básico de límites B3.14

Práctica de calibración B3.4

Terminología B3.7

Dimensiones de montaje B3.8

Accesorios de montaje B3.9

Rodamientos para instrumentos B4.10

Normas para bolas B3.12

Capacidades para carga de bolas B3.15

Capacidades para carga de rodillos B3.16

#### 4.1.- PRINCIPALES TIPOS DE RODAMIENTOS DE NORMA

La selección del tipo de rodamiento depende de muchos factores, como es evidente por los diferentes tipos disponibles. Además, cada tipo básico de rodamiento se proporciona de varias "series" de norma, como son la serie 100, 200, 300 y 400, como se ilustra en la figura 4.2 . Aunque el diámetro interior es el mismo, el diámetro exterior, el ancho y el tamaño de bola son progresivamente más grandes. Así debido a la gran variación de la capacidad para soportar cargas para un tamaño determinado de eje, existe considerable flexibilidad para seleccionar los rodamientos intercambiables en tamaño de norma. [6]

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

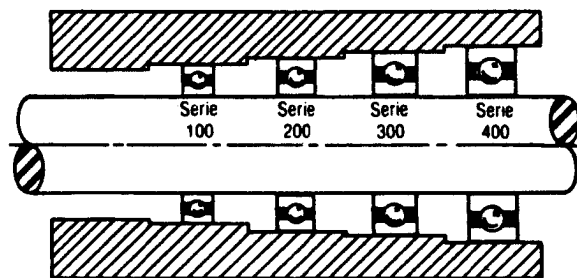


Figura 4.2.- Series de Norma

## 4.2.- Rodamientos de bolas

**De una hilera radial.** (Fig. 4.3) A este rodamiento se le denomina muchas veces rodamiento de ranura profunda o rodamiento conrad. Disponible en muchas variaciones: protecciones o sellos sencillos o dobles. Se emplea normalmente para cargas radiales y de empuje moderado.

**De máxima capacidad.** (Fig. 4.4) La geometría es similar a la del rodamiento de ranura profunda excepto por un canal de llenado. Este canal permite más bolas en el complemento y así, soportará cargas radiales más fuertes. Sin embargo, a causa del canal de llenado, se reduce la capacidad de empuje en ambos sentidos.

**De doble hilera.** (Fig. 4.5) Este rodamiento está provisto para cargas radiales fuertes y cargas de empuje ligeras, sin aumentar el diámetro exterior del rodamiento. Es aproximadamente, de 60 a 80% más ancho que el rodamiento de una hilera. A causa del canal de llenado, las cargas de empuje deben ser ligeras.

**De doble hilera alineamiento propio interno.** (Fig. 4.6) Este cojinete puede usarse en primer lugar para cargas radiales en donde se requiere alineamiento propio (0.003 a 0.005 pulg). No se debe abusar del alineamiento propio, pues excesivo desalineamiento o carga de empuje (11% de la radial) causan pronta falla.

**Rodamientos de contacto angular.** (Fig. 4.7) Estos rodamientos están proyectados para soportar cargas radiales y de empuje combinadas o cargas de empuje fuertes, lo cual depende de la magnitud del ángulo de contacto. Los rodamientos con grandes ángulos de contacto pueden soportar cargas de empuje más pesadas. Pueden montarse en pares, que se denominan rodamientos dúplex: respaldo a respaldo, y cara a cara. Estos rodamientos pueden precargarse para reducir al mínimo el movimiento axial y la deformación del eje.

**Camisas de bolas.** (Fig. 4.8) Este tipo de rodamiento se utiliza para movimientos lineales sobre ejes endurecidos (Rockwell C58 a 64), pero no para movimiento de rotación.

**Rodamientos de bolas de tipo partido.** (Fig. 4.9) Este tipo de rodamiento de bolas o de rodillos tienen partidos el anillo interior, el anillo exterior y la jaula. Están armados con tornillos. Este aspecto, aunque costoso, es útil, cuando es difícil instalar o cambiar un rodamiento sólido.

#### 4.3.- Rodamientos de rodillos

**De rodillos cilíndricos.** (Fig. 4.10) Estos rodamientos utilizan como elementos rodantes, cilindros con relación aproximada de longitud/diámetro que varía de 1:1 a 1:3. Se usan, generalmente, para cargas radiales fuertes. Especialmente útiles para movimiento axial libre del eje.

**Rodamientos de aguja.** (Fig. 4.11) Estos rodamientos tienen rodillos cuya longitud es por lo menos, cuatro veces su diámetro. Son de más utilidad donde el espacio es un problema. Hay con ranura interior o sin ella. El tipo de complemento pleno se usa para cargas altas, oscilantes o para bajas velocidades. El tipo de jaula se debe emplear para movimiento rotacional; no puede soportar cargas de empuje.

**De rodillos cónicos.** (Fig. 4.12) Estos rodamientos se emplean para fuertes cargas radiales y de empuje. El rodamiento se proyecta de manera que todos los elementos en la superficie de rodamiento y los canales de rodamiento hagan intersección en un punto común sobre el eje: así, se obtiene el verdadero rodamiento. En donde se requiere la máxima rigidez para el sistema, los rodamientos pueden ajustarse para una precarga.

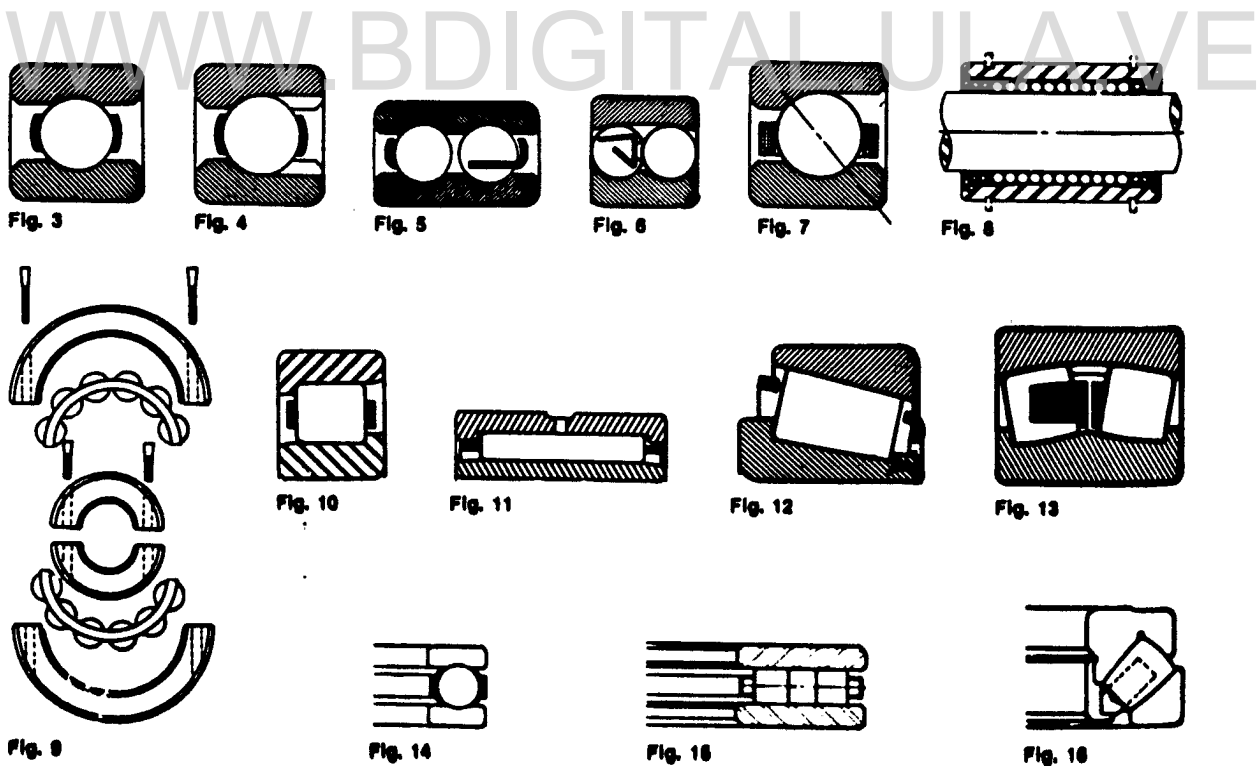
**De rodillos esféricos.** (Fig. 4.13) Estos rodamientos son excelentes para cargas radiales fuertes y empuje moderado. Su característica de alineamiento propio es útil en muchas aplicaciones.

#### 4.4.- Rodamientos de empuje

**Rodamiento de empuje de bolas.** (Fig. 4.14) Puede utilizarse para aplicaciones de baja velocidad en que otros rodamientos soportan carga radial. Estos rodamientos se fabrican con protecciones, así como del tipo abierto.

**Rodamiento de empuje de rodillos rectos.** (Fig. 4.15) Estos rodamientos están hechos con una serie de rodillos cortos para reducir al mínimo el deslizamiento, que causa torcedura, de los rodillos. Pueden emplearse para velocidades y cargas moderadas.

**De empuje con rodillos cónicos.** (Fig. 4.16) Elimina el deslizamiento que ocurre con los rodillos rectos, pero causa una carga de empuje entre los extremos de los rodillos y el resalto en la ranura. Así, las velocidades están limitadas, a causa de que el extremo del rodillo y la brida de la ranura están en contacto deslizante.



Figuras 4.3 a 4.16.- Tipos de Rodamientos

Licencia Creative Commons:

#### 4.5.- Selección de un rodamiento de bolas o rodillos

La **selección** del tipo de rodamiento depende de muchos factores, como la carga, la velocidad, sensibilidad al desalineamiento, limitaciones de espacio y necesidad de la ubicación precisa del eje. Sin embargo, para determinar si se debe seleccionar un rodamiento de bolas o de rodillos, se aplican las siguientes **reglas generales**: [7]

1. Los rodamientos de bolas funcionan sobre el contacto teórico de puntos. Así, son más adecuados para velocidades más altas y cargas más ligeras que los rodamientos de rodillos.

2. Los rodamientos de rodillos son, en general, más costosos, excepto en los tamaños mayores. Puesto que funcionan teóricamente en contacto de líneas, soportarán cargas más fuertes, que incluyen las de choque, pero están limitados respecto a la velocidad.

#### 4.6.- DURACION, CARGA Y RELACIONES DE VELOCIDAD DE LOS RODAMIENTOS

Es esencial conocer con exactitud la capacidad para soportar carga y la duración esperada para seleccionar en forma apropiada los cojinetes de bolas y de rodillos. Los rodamientos que están sujetos a millones de esfuerzos cíclicos y fallan debido a la **fatiga**. De hecho, la fatiga es la única causa de la **falla**, si el rodamiento es apropiadamente, seleccionado, lubricado, instalado y sellado contra la entrada de polvo y suciedad, y se mantiene en esta condición. Por esto, la **vida** de un rodamiento individual está definida como el número total de revoluciones o de horas con una velocidad constante especificada con la que el rodamiento trabaja antes que se revele la primera evidencia de fatiga. [8]

#### 4.7.- Definiciones

**Vida nominal.** Número de revoluciones o de horas con una velocidad constante especificada, que el 90% de un grupo de rodamientos aparentemente idénticos completará o excederá antes que se revele la primera evidencia de fatiga; es decir, 10 de 100 rodamientos fallarán antes de la vida nominal. Los nombres **vida mínima** y **vida** se utilizan también para designar la vida nominal. La Tabla 4.1, muestra una guía para la vida de diseño para diferentes aplicaciones de los rodamientos. [9]

**TABLA 4.1.- Guía para la vida de diseño**

Aplicación	Vida de diseño, h, $L_{10}$	Aplicación	Vida de diseño, h, $L_{10}$
Equipo de agricultura	3 000–6 000	Aparatos domésticos	1 000–2 000
Motores de aviación	1 000–3 000	Motores eléctricos:	
Motores de aviación a reacción	1 500–4 000	Domésticos	1 000–2 000
Automotriz:		Industriales	20 000–30 000
Autobús, coche	2 000–5 000	Elevador	8 000–15 000
Camiones	1 500–2 500	Ventiladores	
Ventiladores:	20 000–30 000	Industriales	8 000–15 000
Servicio continuo, 8 h	20 000–40 000	Ventilación de minas	40 000–50 000
Servicio continuo, 24 h	40 000–60 000	Unidades de engranaje (servicio múltiple)	8 000–15 000
Servicio continuo, 24 h (seguridad extremada)	100 000–200 000	Servicio intermitente	8 000–15 000
Compresores	40 000–60 000	Máquinas para papel	50 000–60 000
Transportadores	20 000–40 000	Bombas	40 000–60 000

**Capacidad de carga básica (C).** Es la carga radial que un rodamiento de bolas puede resistir por un millón de revoluciones del anillo interior. Su valor depende del tipo, geometría, exactitud de fabricación y material del rodamiento. La capacidad de carga básica es llamada también **capacidad dinámica específica, capacidad dinámica básica o capacidad de carga dinámica.**

**Carga radial equivalente.** Carga radial estacionaria y constante que, si está aplicada a un rodamiento con anillo interior que gira y con anillo exterior estacionario, daría la misma duración que aquella que el rodamiento alcanzaría en las condiciones reales de carga y rotación.

**Capacidad de carga estática ( $C_0$ ).** Carga radial estática que corresponde a una deformación permanente total del elemento rodante y del anillo, de 0.0001 pulg. del diámetro del elemento rodante.

Los valores de  $C$  y  $C_0$  se obtienen con facilidad en cualquier catálogo de fabricante de rodamientos como una función del tamaño y del tipo de rodamiento. En la Tabla 4.2, se listan las capacidades de la carga básica y la estática para algunos tamaños y tipos de rodamientos comunes.

**TABLA 4.2.- Capacidades para carga básica y estática contra tipos y tamaños**

(Capacidades en libras) 1 lb = 0.45359 kg

Diámetro interior de cojinete, mm	Serie 200 de una hilera de bolas		Serie 300 de una hilera de bolas		Serie 200 de doble hilera de bolas		Serie 300 de rodillos cilindricos		Serie 22 200 de rodillos esféricos	
	$C_0$	$C$	$C_0$	$C$	$C_0$	$C$	$C_0$	$C$	$C_0$	$C$
10	600	1 040	850	1 430	800	1 210	1 020	1 960		
12	680	1 180	1 040	1 650	1 250	1 820	1 350	2 540		
15	780	1 330	1 220	1 970	1 430	2 030	1 520	2 820		
17	1 000	1 660	1 470	2 340	1 840	2 510	2 070	3 700		
20	1 390	2 220	1 760	2 730	2 540	3 480	2 560	4 490		
25	1 560	2 420	2 350	3 550	2 858	3 780	3 720	6 360		
30	2 250	3 360	3 120	4 600	4 110	5 140	5 070	8 460		
35	3 070	4 430	4 020	5 770	5 600	6 700	6 400	10 400		
40	3 520	5 040	5 020	7 060	6 430	7 680	7 930	12 500	11 800	15 200
45	4 000	5 660	6 130	8 430	7 320	8 620	9 110	14 700	12 600	15 900
50	4 450	6 070	8 010	10 750	8 130	9 220	11 600	17 900	13 600	16 800
55	5 630	7 500	9 400	12 410	10 300	11 400	12 600	19 100	16 500	20 300
60	6 950	9 070	10 902	14 179	12 700	13 800	15 200	22 800	20 800	25 200
65	7 660	9 900	12 516	16 051	14 000	15 000	19 900	29 000	25 500	30 200
70	8 410	10 714	14 240	18 030	15 400	16 300	21 400	30 800	27 500	31 900
75	9 190	11 610	16 080	19 600	16 900	17 300	24 200	32 900	29 100	31 100
80	10 010	12 550	18 020	21 230	18 300	19 100	27 000	38 100	32 100	36 800
85	11 750	14 490	20 080	22 880	19 500	19 700	30 900	43 300	38 200	43 200
90	13 630	16 540	22 250	24 580	22 100	22 600	35 200	48 800	44 500	49 800
95	15 650	18 740	24 510	26 310	28 600	28 600	39 500	54 200	48 800	54 700
100	17 800	21 130	29 410	29 940	32 500	32 100	44 700	60 800	55 700	61 900
110	20 100	23 080	32 040	31 800	30 500	30 700	51 200	70 500	72 000	78 400

**Carga equivalente estática.** Carga estática radial, que si se aplica, causaría la misma deformación permanente total en el contacto más fuerte con esfuerzo de bola y anillo que aquella que ocurriría en las condiciones reales de carga.

#### 4.8.- PROTECCIONES PARA RODAMIENTOS

Los rodamientos se fabrican con variedad de **protecciones**. Estos son básicamente, abiertos, de protección o sellados. Esto impide que se acumule la suciedad y que no se aumente la fricción. Los **rodamientos sellados** tienen una lengüeta flexible (comúnmente de hule sintético) en contacto con el anillo interno. Aumenta la fricción, pero se obtiene más efectiva retención del lubricante y se evita la suciedad. Los sellos no se deben usar para sellar lubricante fluido o en altas velocidades.

#### 4.9.- LUBRICACION

Los rodamientos necesitan un **lubricante fluido**, para obtener o sobrepasar la vida nominal. En ausencia del ambiente de alta temperatura, sólo se requiere una pequeña cantidad de lubricante para rendimiento excelente. El exceso de lubricante causa el calentamiento del rodamiento y acelera el deterioro del lubricante. La lubricación óptima de los rodamientos puede predecirse por la teoría elastohidrodinámica (EHD). Se ha demostrado que el espesor de la película es sensible a la velocidad de operación del rodamiento y a las propiedades de viscosidad del lubricante, pero es virtualmente insensible a la carga. [10]

La **grasa** se usa comúnmente para lubricar los rodamientos, debido a que es conveniente y requiere mínimo mantenimiento. En las aplicaciones que comprenden altas velocidades, muchas veces es necesaria la lubricación con aceite. En la elección de la clase de grasa es necesario tener en cuenta su consistencia, la región de temperaturas en la cual puede usarse la grasa y su acción anticorrosiva en presencia de agua.

El límite superior de temperatura para el empleo de las grasas al calcio se encuentra alrededor de +60 °C. Ciertas grasas de este tipo protegen también contra el agua salada. Las grasas al sodio son aplicables en la región de temperaturas de -30 a +80 °C, y ejercen acción anticorrosiva por absorber el agua que pueda penetrar, con la que forman una emulsión. Al aumentar el contenido de agua en la grasa se produce una disminución de las propiedades lubricantes, existiendo riesgo de que la grasa se escape fuera de la disposición.

Las grasas al litio pueden generalmente emplearse en la región de temperaturas de -30 a +110 °C y son inalterables al agua. Si puede penetrar agua en la aplicación, la grasa debe contener un aditivo anticorrosivo.

Los intervalos de relubricación en horas de operación dependen de la temperatura, velocidad y tamaño del rodamiento. Las aplicaciones en las cuales la grasa se ensucia mucho o tiene que servir también para impedir la entrada de agua, deben relubricarse con mayor frecuencia. Si se carece de información sobre la cantidad de grasa para la relubricación, puede calcularse mediante la fórmula:

$$G = 0.005 D B$$

siendo

**G** = cantidad de grasa en gramos

**D** = diámetro exterior del rodamiento en milímetros

**B** = ancho del rodamiento en milímetros

Cuando debido a condiciones de funcionamiento la relubricación se efectúa a intervalos largos, es suficiente que el alojamiento sea accesible y pueda abrirse fácilmente. Cuando el intervalo de relubricación es más corto, deberán preverse medidas para efectuar tales relubricaciones como por ejemplo adaptando un engrasador al soporte, para aplicar la grasa con una pistola de engrase.

#### **4.10.- CONSIDERACIONES EN EL MONTAJE DE RODAMIENTOS**

Una condición para que un rodamiento funcione satisfactoriamente y alcance la duración prevista es que en su montaje se utilice el método correcto y se observe pulcritud. El montaje debe de preferencia efectuarse en un lugar seco y limpio. El lugar de trabajo no debe, de ser posible, estar próximo a máquinas que desprendan virutas o polvo. Entre las consideraciones más importantes se tienen: [7]

1.- Examinar cuidadosamente las piezas vecinas a los rodamientos. Quitar las rebabas y limpiar el eje y los resaltes. Verificar la exactitud en dimensiones y de forma del eje y soporte.

2.- Untar con aceite fluido el asiento del rodamiento antes de su montaje para evitar daños en el eje.

3.- No debe darse nunca martillazos directamente sobre el rodamiento, sino intercalar algún elemento, ya que, el aro podría quebrarse y la jaula dañarse o desprenderse fragmentos metálicos.

- 4.- No posicione nunca el rodamiento presionando sobre el aro exterior al montarlo sobre el eje, podrían dañarse los caminos de rodadura y elementos rodantes.
- 5.- Si el eje lleva roscas interiores o exteriores, éstas pueden aprovecharse para el montaje.
- 6.- Si se dispone de una prensa mecánica o hidráulica, pueden montarse en frío rodamientos pequeños y medianos. Intercalar un casquillo o trozo de tubo bien limpio entre la prensa y el aro interior.
- 7.- El montaje de rodamientos grandes se facilita calentándolos previamente, siendo una temperatura apropiada unos 80-90 °C por encima de la temperatura ambiente. Un rodamiento no debe calentarse nunca por encima de 120 °C. No debe calentarse nunca el rodamiento directamente a la llama.
- 8.- Los rodamientos de rodillos cilíndricos pueden generalmente montarse por partes. Primero montar el aro libre aceitando ligeramente el camino de rodadura. Es recomendable el uso de un casquillo guía.
- 9.- Cualquier parte del rodamiento que quede inclinada al ser montado, puede dañar fácilmente los aros o los rodillos.

10.- Quitar el agente antioxidante del agujero del rodamiento antes de montarlo. Lubricar la rosca de la tuerca de seguridad y el lado opuesto al rodamiento, emplee aceite para la lubricación de la superficie de los manguitos. Colocar el rodamiento sobre el manguito de fijación y roscar la tuerca. Calar el rodamiento apretando la tuerca.

11.- Al montar rodamientos de bolas a rótula sobre manguitos de fijación se comprobará la reducción del juego girando y ladeando el aro exterior durante el calado.

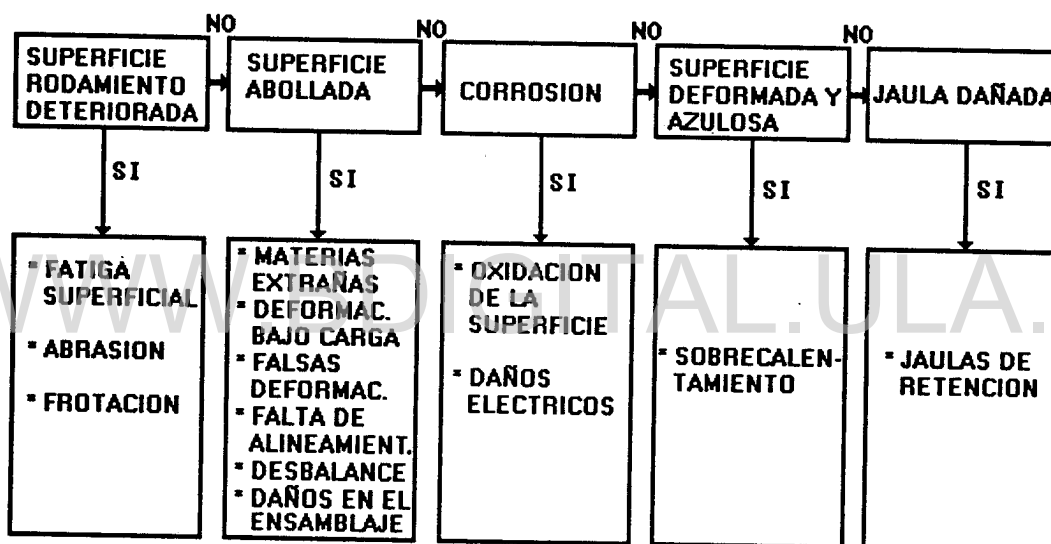
12.- Antes de montar un rodamiento de rodillos a rótula sobre manguito de fijación, se medirá el juego interno con un juego de galgas de espesores. Con el rodamiento en posición vertical sobre el banco de trabajo gírese el aro interior un par de vueltas de modo que los rodillos se sitúen debidamente antes de introducir la galga. Medir entre el rodillo superior y el aro exterior, iniciando con una galga relativamente delgada y aumentando el grueso sucesivamente, hasta que la galga pueda apenas introducirse. El juego medido debe ser el mismo para ambas hileras de rodillos.

#### **4.11.- DETECCION DE DEFECTOS EN RODAMIENTOS**

Entre las máquinas dotadas de movimiento rotativo, una gran cantidad utiliza rodamientos, y muchas de ellas están diseñadas para funcionar a alta velocidad y con elevado rendimiento. La mayor parte de las veces se desempeñan durante largos períodos de tiempo y en condiciones ambientales generalmente adversas; y cuando los rodamientos en estas máquinas fallan, el tiempo muerto puede resultar muy costoso. En la industria moderna, el control, el análisis y la corrección de los problemas de rodamientos son operaciones críticas.

A continuación se presenta un flujograma donde se identifican en cinco grupos los síntomas observados en los rodamientos (una vez fallados), y las respectivas fallas asociadas a los mismos.

### Síntomas y fallas asociadas en Rodamientos



Los diferentes tipos de fallas mencionados en el flujograma anterior son descritos seguidamente según, sus características, causas y recomendaciones para evitar la recurrencia de las mismas.

#### 4.11.1.- Fatiga superficial:

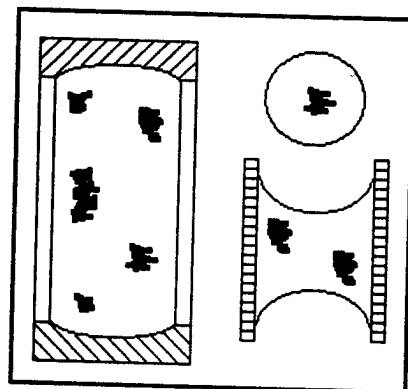
Se caracteriza por la aparición de escariaciones; pero luego, comienza a descascararse y a fisurarse. A medida que la fatiga superficial progresa lentamente, el funcionamiento del rodamiento puede tornarse tosco, ruidoso y el rodamiento puede recalentarse demasiado.

##### Causas:

La fatiga superficial está asociada con problemas concernientes al aceite de lubricación, tales como lubricación inadecuada, baja viscosidad e interrupciones de la película de aceite. Esfuerzos continuados o aspereza superficial dan como resultado la fatiga superficial inevitable.

##### Recomendaciones:

Este tipo de problema puede ser evitado, o por lo menos, postergado al máximo, manteniendo el rodamiento siempre limpio y bien lubricado (Viscosidad adecuada).



Fatiga Superficial

#### 4.11.2.- Abrasión:

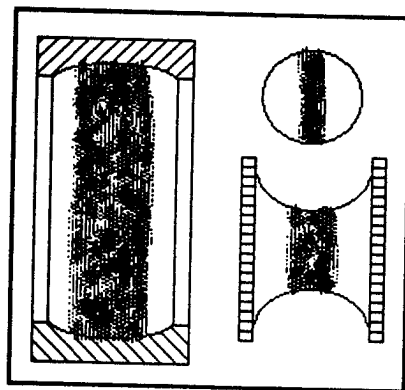
Remoción del material de la superficie, debido al efecto de lijamiento. De acuerdo con la naturaleza de las fuerzas abrasivas, la superficie toma un aspecto de color gris metálico opaco, o de una superficie lustrada a espejo. El rodamiento al final está sujeto a falla catastrófica ocasionada por el cambio en su geometría o exceso de holgura.

#### Causas:

Suciedad abrasiva muy fina es la causa común de una falla por abrasión; y dicha suciedad puede entrar en el rodamiento durante la instalación, a través de sellados imperfectos, o con lubricante contaminado.

#### Recomendaciones:

Es buena práctica, durante la instalación, limpiar bien con un trapo limpio todos los aditamentos antes de aplicar grasa sobre los mismos, y mantener limpios el área de trabajo como las manos. Sellos buenos y lavables, además de lubricantes limpios, colaboran a impedir la contaminación después de la instalación de los rodamientos.



Abrasión

#### 4.11.3.- Frotación:

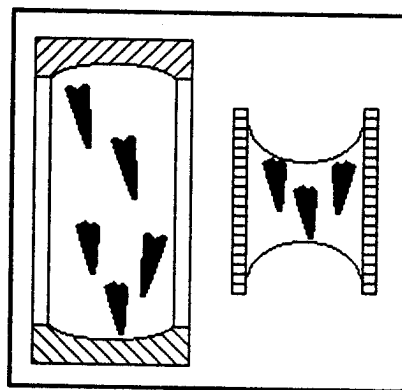
La frotación es el resultado de la remoción de metal desde una superficie de soporte, con subsiguiente depósito de dicho metal sobre otra superficie. Los extremos de los rodillos cilíndricos a veces muestran signos de frotación, y eso es una indicación de que el rodamiento de rodillos está recibiendo fuerzas de empuje de un tipo o nivel que dicho rodamiento no está diseñado para recibir.

#### Causas:

La frotación es causada por deslizamientos que ocurren bajo cargas pesadas y con lubricación insuficiente.

#### Recomendaciones:

La frotación puede ser evitada teniendo una adecuada selección del rodamiento a utilizar, con lubricación adecuada.



Frotación

#### 4.11.4.- Deformaciones bajo carga:

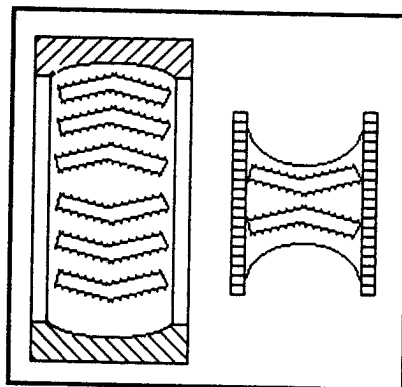
Una deformación bajo carga consta de abolladuras en las pistas de deslizamiento. Se trata de deformaciones plásticas de las marcas de amolado del metal, y las marcas siguen siendo visibles en las abolladuras.

##### Causas:

Este problema, puede ser resultado de elevadas cargas estáticas o de impacto, de prácticas de montaje incorrectas (bajo de tolerancias) y de choques mecánicos, del tipo ocasionado por una caída al suelo de la máquina.

##### Recomendaciones:

Se pueden evitar las deformaciones bajo carga, con un correcto procedimiento de instalación, aplicando fuerza solamente a las piezas que deben ser ajustadas bajo presión. Si las cargas de impacto no pueden ser evitadas ni "amortiguadas" se deberán usar rodamientos con una clasificación superior en cuanto a resistencia estática. También al instalarse, se deben dejar las tolerancias (entre eje y anillo interior) recomendadas por los fabricantes ( 0.002 pulg.).



Deformaciones bajo carga

#### 4.11.5.- Abolladuras debidas a materias extrañas:

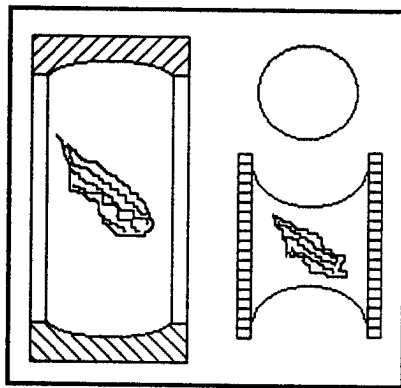
Esto es similar a las deformaciones bajo carga en cuanto las abolladuras están causadas por escurrimientos plásticos más bien que por desgaste.

##### Causas:

Las abolladuras debidas a materias extrañas ocurren mientras el rodamiento está funcionando; materias extrañas son "arrolladas" en las pistas de deslizamiento, dejando a su paso abolladuras al azar que actúan como punto de atracción de las tensiones y trastornan la película de lubricante. Esto pronto conduce a fatiga superficial.

##### Recomendaciones:

Las abolladuras debidas a materias extrañas pueden ser reducidas usando mejores sellos y lubricando los rodamientos con mayor frecuencia, de manera de "lavar" y eliminar las eventuales materias extrañas.



Abolladuras debidas a materias extrañas

#### 4.11.6.- Falsas deformaciones bajo carga:

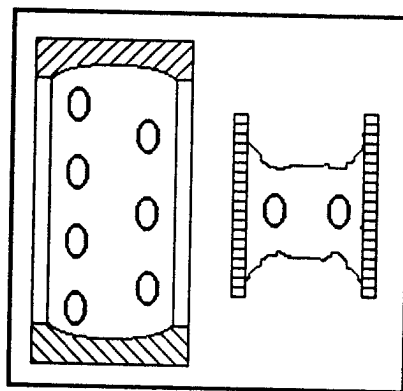
Similarmente a las deformaciones reales bajo carga, las falsas deformaciones se caracterizan por abolladuras en las pistas de deslizamiento. Sin embargo, en este caso, las abolladuras están causadas por remoción de material; de manera que una inspección ocular de cerca no revela la presencia de marcas de amolado en las depresiones.

##### Causas:

Las falsas deformaciones bajo carga son ocasionadas por una severa vibración que ocurre mientras la máquina no está funcionando. A veces esto sucede durante el transporte, pero no hay que descuidar la posibilidad de que haya vibración ocasionada por maquinaria cercana.

##### Recomendaciones:

Este tipo de problema puede ser evitado trabando adecuadamente los ejes durante el embarque, y aislando la máquina de la vibración de otras máquinas, tal vez utilizando bases separadas.



Falsas deformaciones bajo carga

#### 4.11.7.- Falta de alineamiento:

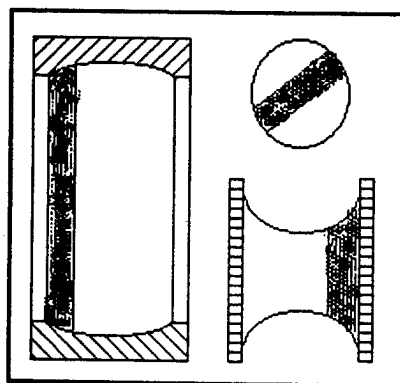
Se caracteriza por presentar una abolladura continua a lo largo de la periferia lateral de la superficie. La falta de alineamiento de un eje, de un acoplamiento, o del rodamiento en sí pueden conllevar elevadas cargas axiales, que ocasionan fallas por fatiga y astilladuras abundantes.

#### Causas:

Elevadas cargas axiales debidas a la falta de alineación de un eje, acoplamiento o del rodamiento.

#### Recomendaciones:

Verificar que el eje, acople y rodamientos se encuentren adecuadamente alineados para evitar las excesivas cargas axiales.



Falta de alineamiento

#### 4.11.8.- Desbalance de carga:

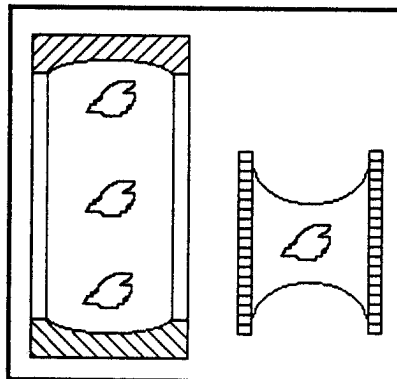
El desbalance puede representar la mayor parte de carga sobre un rodamiento; y cuando dicho desbalance es excesivo, ocasiona abolladuras puntuales y localizadas en forma salteada en la parte central. de la pista de deslizamiento interno.

##### Causas:

El desbalance de rotores.

##### Recomendaciones:

Hay que tomar medidas para asegurar que el desbalance sea mantenido al mínimo, balanceando cuidadosamente las piezas, particularmente en los casos en los cuales las piezas deben funcionar a altas velocidades.



Desbalance de carga

#### 4.11.9.- Daños ocasionados durante el ensamblaje:

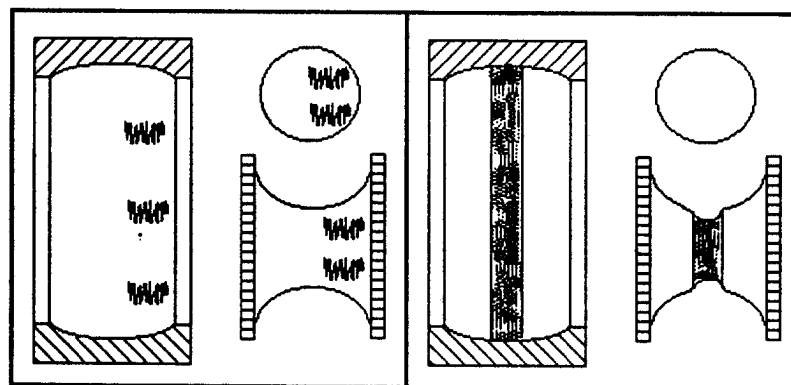
Se caracteriza por la presencia de varias marcas puntuales a lo largo de la periferia lateral de la superficie de deslizamiento ó una abolladura longitudinal completa en el centro de las pistas, con posible desgarre del material debido al roce.

##### Causas:

- Mala instalación del rodamiento producto de golpes en las pistas.
- Ajustes precarios durante la instalación del mismo.

##### Recomendaciones:

Instalar los rodamientos de acuerdo a la indicación del fabricante conservando los valores de ajuste recomendados.



Daños ocasionados por golpes en la pista

Daños ocasionados por ajustes precarios

#### 4.11.10.- Oxidación de la superficie:

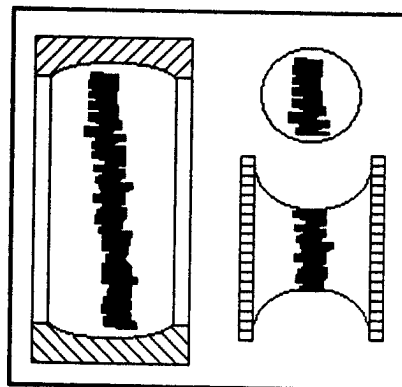
El aire puede acarrear humedad, y al enfriarse, dicha humedad puede precipitar y depositarse sobre las superficies internas del rodamiento. De todas formas, la humedad tiende a atacar el acero en los puntos en los cuales los elementos rodantes tocan la pista de deslizamiento y presionan el lubricante, sacándolo de las áreas de contacto.

#### Causas:

La corrosión es causada por humedad que se asienta en el rodamiento producto de la humedad del aire o la presencia de agua en el lubricante.

#### Recomendaciones:

La oxidación de la superficie, puede ser impedida usando sellos buenos de empaque o de grasa y lubricando frecuentemente el rodamiento. Los rodamientos deberán ser rellenados con grasa durante los períodos de parada prolongada de las máquinas. También, se deben realizar inspecciones periódicas (en caso de lubricación por aceite), para detectar la presencia de agua en el lubricante.



Corrosión atmosférica

#### 4.11.11.- Daños eléctricos:

Las picaduras debidas a la corriente eléctrica a menudo se desarrollan en una conformación regular en las pistas de deslizamiento y en las superficies de los elementos rodantes, como resultado del paso de corrientes eléctricas a través del rodamiento. Las corrientes eléctricas pueden también ocasionar picaduras en conformación irregular.

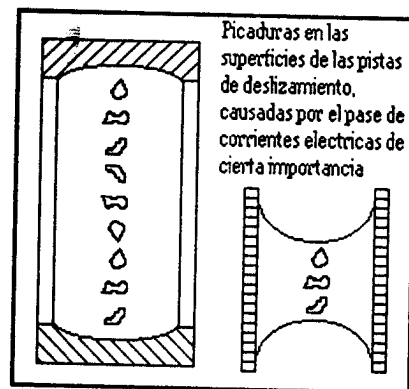
#### Causas:

Las picaduras se originan cada vez que la corriente salta entre la superficie de las pistas (exterior ó interior) y el elemento rodante; esta corriente estática es generada por las bandas transportadoras, o provocada por una colocación descuidada de equipos de soldar.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

#### Recomendaciones:

Las bandas transportadoras deberán estar equipadas con tiras de puesta a tierra, y los equipos de soldar deberán tener una conexión de puesta a tierra entre la soldadura y el rodamiento más cercano.



Daños eléctricos

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

#### 4.11.12.- Sobre calentamiento:

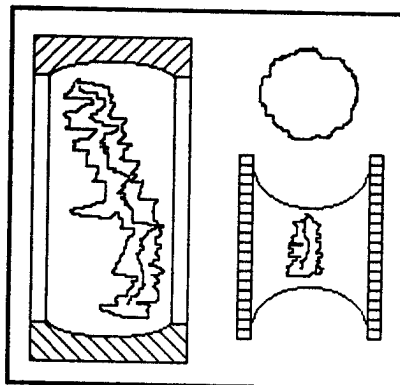
Se presenta como un cambio en la geometría del rodamiento y se caracteriza porque el metal toma una coloración azulosa. Está normalmente asociado con una falla completa o catastrófica del rodamiento. El calor a menudo se origina internamente por fricción entre los elementos rodantes y las pistas.

##### Causas:

Es causado por una combinación de calor y carga, debido a la ausencia total de lubricante en el rodamiento.

##### Recomendaciones:

- Realizar inspecciones periódicas para revisar los niveles de lubricante (en el caso de lubricación por aceite).
- Programar la ejecución del reengrase con una periodicidad de aproximadamente 4 meses (en el caso de lubricación por grasa).



Sobrecalentamiento

#### **4.11.13.- Falla de las jaulas de retención:**

Las fallas de las jaulas de retención, a menudo conducen a fracturación o falla de los anillos, lo que a su vez causa una falla catastrófica del rodamiento.

##### Causas:

La causa más común de falla de las jaulas de retención es la encorvadura de los elementos de dicha jaula, que ocurre cuando las bolas se mueven en zigzag debido a una falta de alineamiento. Daños a jaulas de retención pueden ser ocasionados también por un manejo incorrecto, contaminación, lubricación escasa del rodamiento o temperatura excesiva.

##### Recomendaciones:

Evitar en lo posible el uso de jaulas de poliamida en donde la temperatura sea mayor a 80 °C y/o velocidades mayores de 1800 rpm, y mantener el rodamiento con lubricación adecuada.

## V.- COJINETES DE DESLIZAMIENTO

### INTRODUCCION

Un cojinete es un elemento mecánico que soporta y guía los componentes rotativos de una máquina y reduce la fricción entre sus partes. [11]

El propósito principal de los cojinetes es proveer grados de libertad, baja fricción de rotación, de las partes de una máquina y soportar las cargas estáticas y dinámicas de la misma.

#### 5.1.- Tipos de cojinetes de deslizamiento:

Los cojinetes de deslizamiento comprenden dos tipos:

- \* Radial
- \* Axial o de Empuje

##### 5.1.1.- Cojinete Radial:

Estos cojinetes son rellenos con un metal blanco antifricción, que consiste de una aleación llamada babbit (estaño, plomo). Son de tipo manguito y presentan resaltes en los extremos, para mantenerlos en su posición. Un pasador tope, evita que giren con el eje y están divididos horizontalmente para retirarlos y reemplazarlos, sin quitar el eje de su lugar.

### **5.1.2.- Cojinete Axial o de Empuje:**

El cojinete de empuje del tipo de bolas o de zapatas, son fabricados de la misma aleación que los cojinetes radiales y se colocan en el eje para evitar su movimiento axial. En los sistemas de lubricación forzada, el cojinete funciona con un baño continuo de aceite y en el de lubricación por anillo, recibe el suministro necesario de aceite, desde el mismo anillo que proporciona el aceite al cojinete principal.

### **5.2.- Tipos de Fallas en Cojinetes:**

Los tipos de fallas más comunes encontradas en los cojinetes de deslizamiento son los siguientes:

- Rayaduras
- Deslizamiento de la Superficie
- Agrietamiento
- Corrosión
- Daños por Vibración
- Falla por Lubricación Inadecuada
- Falla por Sobrecalentamiento

### 5.2.1.- Rayaduras:

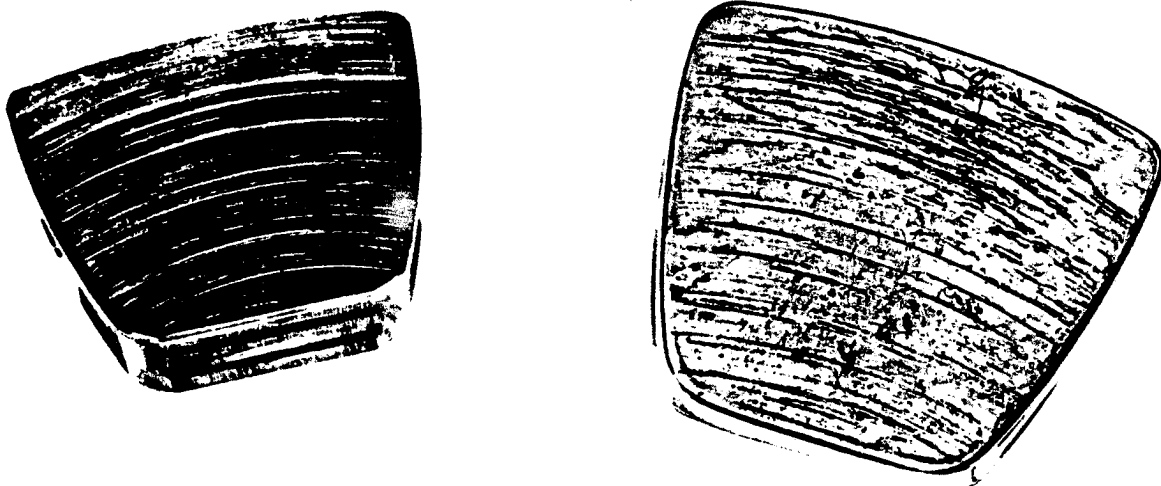
Este daño ha tenido lugar cuando la superficie del cojinete, muestra signos de rugosidad, marcas de rayas o surcos.

#### Causas:

Se origina por la introducción de partículas extrañas (escorias de soldadura, polvo o arena), en el sistema de lubricación.

#### Recomendaciones:

Colocar un buen sistema de filtrado de aceite y tomar muestras mensuales a fin de verificar la condición del mismo.



### 5.2.2.- Deslizamiento de la Superficie:

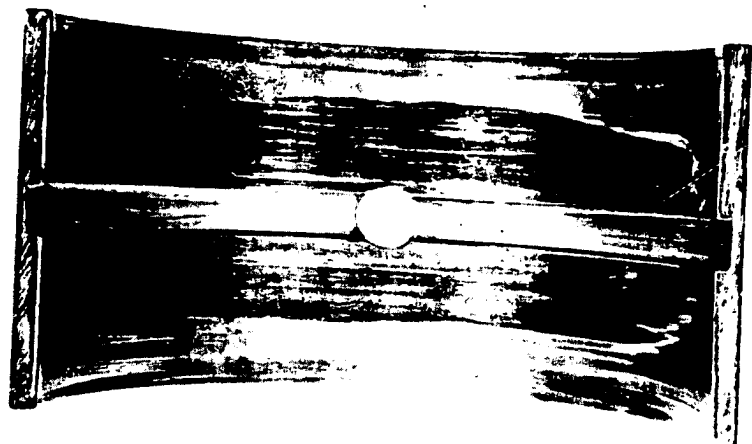
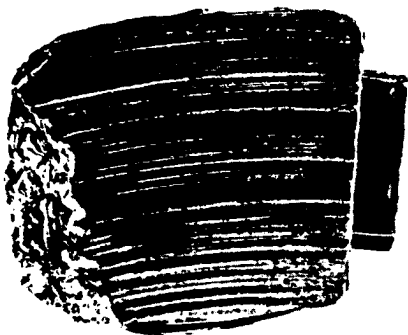
Ocurre por rozamiento excesivo del eje contra la superficie del cojinete originando la fundición del metal blanco y posterior deslizamiento de la capa superficial.

#### Causas:

Al rodar la máquina con tolerancias en el cojinete por debajo de las recomendadas o como insuficiencia del aceite lubricante, crea sobrecalentamiento que genera la fundición del babbitt.

#### Recomendaciones:

Ajustar las tolerancias de acuerdo a las recomendadas por el fabricante ( $1.5 \times D$ ) donde  $D$  = diámetro del eje.



### **5.2.3.- Agrietamiento:**

Falla caracterizada por el rompimiento parcial de la superficie del metal originada al someter al cojinete a trabajo con altas cargas. Las altas temperaturas en los metales blancos inducen a la disminución de los esfuerzos de fluencia.

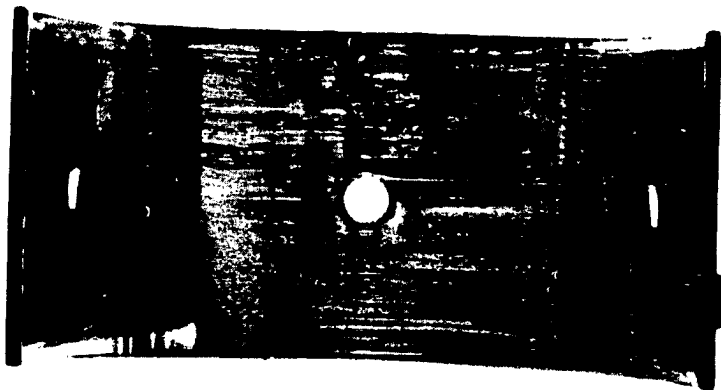
#### **Causas:**

Cargas cíclicas tales como: Desbalance, desalineación, sobrevelocidad del eje, ejes no cilíndricos debido a efectos de fabricación o doblados.

#### **Recomendaciones:**

Evitar arrancar los equipos con altos niveles de vibración y no operar los equipos por encima de las velocidades recomendadas por el fabricante.

Verificar durante el ensamblaje del equipo, la rectitud del eje y la redondez del mismo en los apoyos.



#### 5.2.4.- Corrosión:

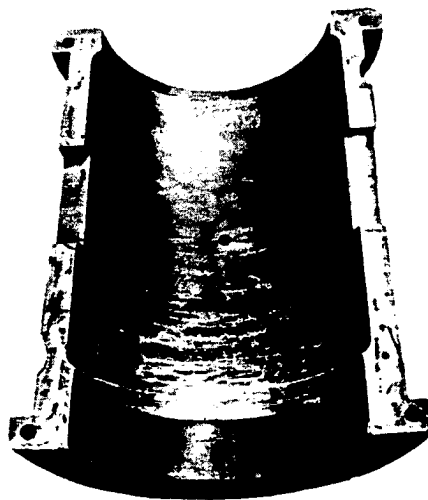
La corrosión en las aleaciones de material blanco se caracteriza por el deterioro de la superficie del metal, debido al ataque químico a sus componentes que afectan los límites de grano, manifestándose en forma de picaduras o agrietamiento del metal.

##### Causas:

Las causas del ataque químico en la superficie del metal se originan por la acción de ácidos activos producto de la oxidación del aceite lubricante, descomposición de sus aditivos ó el ingreso de agua ó líquido coagulante dentro del lubricante.

##### Recomendaciones:

Seleccionar el aceite lubricante de acuerdo al servicio y el ambiente donde se ubique el equipo, de tal manera de asegurarse que los aditivos usados en el aceite no produzcan ataques en la superficie del metal y reemplazarlo a intervalos regulares de tiempo (cada 6 meses) efectuando análisis periódicos (cada mes) para determinar la condición del aceite.



### 5.2.5.- Daños por Vibración:

Se caracteriza por la aparición de un surco a todo lo largo del cojinete, de ancho igual al diámetro del eje.

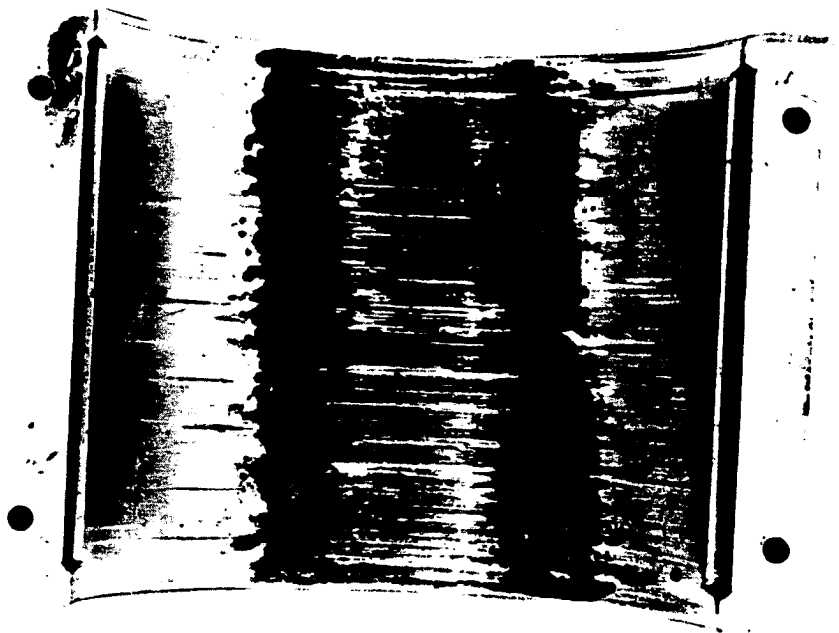
#### Causas:

Vibración extrema transmitida a la máquina por fuentes externas.

#### Recomendaciones:

Eliminar la fuente externa de vibración ó colocar amortiguamiento en la base del equipo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE



### **5.2.6.- Falla por Lubricación Inadecuada:**

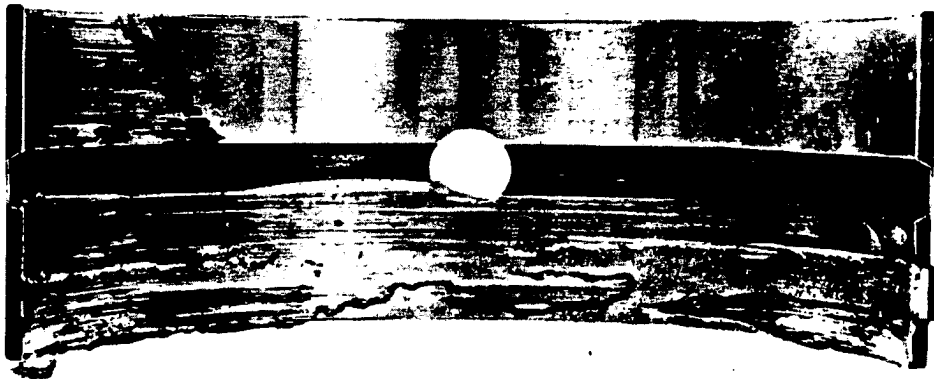
Esta falla se caracteriza por el desprendimiento del material babbit de manera parcial y coloración oscura de la superficie, evidencia de alta temperatura producida por el roce del eje.

#### **Causas:**

Originado por problemas en el sistema de lubricación (falla de la bomba ó inadecuada capacidad), obstrucción de los conductos de lubricación ó error humano en aquellos equipos donde es necesario reponer el aceite en forma manual.

#### **Recomendaciones:**

Verificar que los conductos de lubricación estén libres y chequear que no existan fugas de aceite en el sistema de lubricación durante la operación del equipo.



### **5.2.7.- Falla por Sobre calentamiento:**

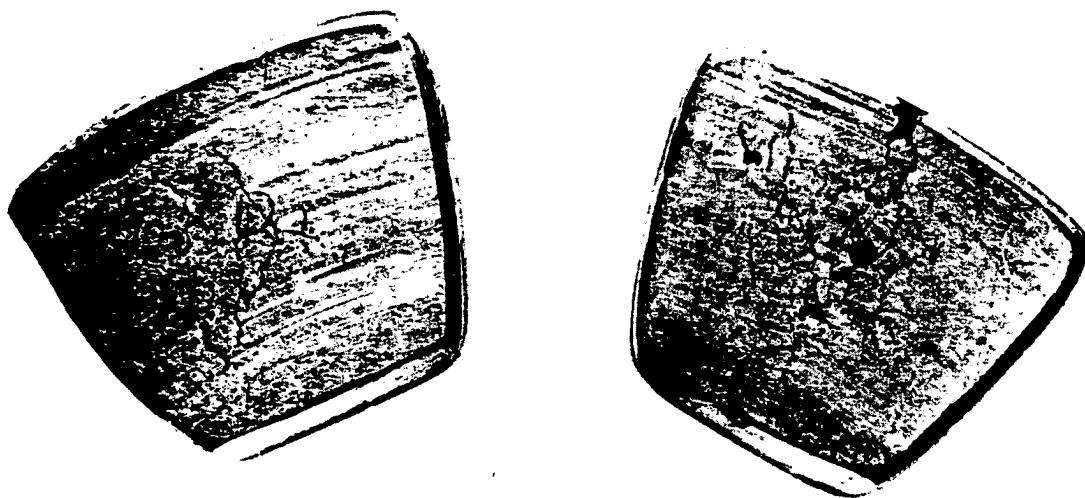
Se evidencia por la presencia de grietas en la superficie, originada por la reducción de los esfuerzos del metal debido a las fuerzas normales y de corte transmitidas a través de una película muy delgada de aceite.

#### **Causas:**

El origen de esta falla es debida a la existencia de una película de aceite muy delgada, producto de la utilización de un lubricante de viscosidad menor a la especificada; y también a la falta de enfriamiento del cojinete.

#### **Recomendaciones:**

Utilizar un aceite de mayor viscosidad y colocar venteos para la salida de los vapores del aceite.



## CONCLUSIONES

- La utilización de este trabajo permite el desarrollo de la capacidad técnica-analítica del personal mantenedor (Profesional o no) en la identificación de fallas en componentes de equipos rotativos (Sellos Mecánicos, Empaquetaduras, Rodamientos y Cojinetes de Deslizamiento).
- Esta metodología contribuye a la disminución de fallas en equipos rotativos, ya que se disponen de las acciones a tomar en cada caso para evitar la recurrencia de fallas.
- Estas herramientas permiten obtener ahorros significativos en la gestión de mantenimiento debido a que los componentes estudiados son altamente costosos.
- El estudio de fallas garantizará la confiabilidad y disponibilidad de los equipos al prolongar la vida útil de sus componentes, lo cual resulta en una mayor productividad de las plantas de proceso y seguridad del personal (operador y mantenedor), y de las instalaciones, al reducir los riesgos por exposición a sustancias tóxicas como en el caso de las manejadas en la Planta de Alquiler.
- Los resultados obtenidos en la aplicación en Planta de la metodología desarrollada en el presente trabajo ha producido excelentes resultados. Antes de implementar el trabajo las fallas en este tipo de componentes andaban alrededor del 80 % y una vez implementado bajaron al 40 %, lo cual deja ver lo beneficioso de establecer esta metodología.
- Este trabajo puede ser continuado en lo referente a la búsqueda de las causas de las fallas desde el punto de vista del comportamiento del material.

## RECOMENDACIONES

- Facilitar este trabajo al personal mantenedor de la Refinería Puerto La Cruz, a objeto de servir de guía para la identificación de fallas y soluciones de problemas.
- Continuar con el estudio de fallas hacia otros componentes de equipos rotativos tales como engranajes y acoples.
- La información contenida en este trabajo puede ser utilizada para la elaboración de sistemas expertos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Corpoven, S.A.: " Formación de Mecánicos de Mantenimiento ", Año 1991
- [2] Kenneth Mc Naughton: " Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento ", Mc Graw-Hill, Edición 1989
- [3] Cepet: " Empaquetaduras y Sellos Mecánicos ", 1989
- [4] Gulf Publishing Company: " Seals and Sealing Handbook ", Houston - Texas, 1981
- [5] Baumeister Theodore, Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore: " Marks' Manual del Ingeniero Mecánico ", Octava Edición, Volumen II, 1989.
- [6] Baumeister Theodore, Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore: " Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers ", Eighth Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- [7] SKF: " Manual de Mantenimiento y Recambio de Rodamientos ", Suecia 1986
- [8] Océano/Centrum: " Enciclopedia de la Mecánica, Ingeniería y Técnica ", Volumen II, Edición 1990.
- [9] Shigley Joseph, Mitchell Larry: " Manual de Diseño Mecánico ", Tomo III, Cuarta Edición 1989
- [10] STEYR: " Rodamientos Steyr ", Manual Técnico 282S
- [11] The Glacier Metal Company: " Bearing Damage ", March 1983

## BIBLIOGRAFIA

- Baumeister Theodore, Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore: " Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers ", Eighth Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Baumeister Theodore, Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore: " Marks Manual del Ingeniero Mecánico ", Octava Edición, Volumen II, 1989.
- Cepet: " Empaquetaduras y Sellos Mecánicos ", 1989
- Corpoven S.A.: " Formación de Mecánicos de Mantenimiento ", Año 1991
- Gulf Publishing Company: " Seals and Sealing Handbook ", Houston - Texas, 1981
- Kenneth Mc Naughton: " Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento ", Mc Graw-Hill, Edición 1989
- Océano/Centrum: " Enciclopedia de la Mecánica, Ingeniería y Técnica ", Volumen II, Edición 1990.
- Sealol: " Process Pump Seal Handbook ", Revisión 12, April 1986
- Shigley Joseph, Mitchell Larry: " Manual de Diseño Mecánico ", Tomo III, Cuarta Edición 1989
- SKF: " Manual de Mantenimiento y Recambio de Rodamientos ", Suecia 1986
- STEYR: " Rodamientos Steyr ", Manual Técnico 282S
- The Glacier Metal Company: " Bearing Damage ", March 1983

WWW.BDIGITAL.ULA.VE **ANEXOS**

Licencia Creative Commons:  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

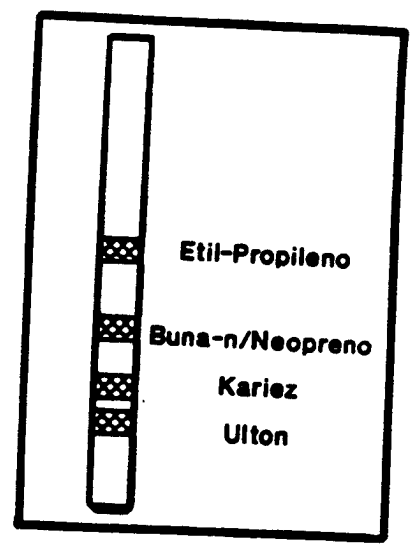
# ***ANEXO No. 1***

## ***SELECCION DE ELASTOMEROS***

Licencia Creative Commons:  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

**TABLA No. 1  
SELECCION DEL ELASTOMERO**

Servicio	Viton	Etil-Pro	Neopreno	Buna-n	Karl
Aceite Soluble	x				
Aceite hidráulico	x				
Aceite lubricante	x				
Aceites minerales	x				
Acetileno (gas)		x			
Acetileno (gas + líquido)					
Acetona				x	
Acido Acetico		x			
Acido sulfúrico		x			
Acido carbónico	x	x			x
Acido fluorhídrico <60%	x	x			
Acido fluorhídrico >60%	x				
Acido fluorhídrico >140oF					
Acido nítrico <60%	x				x
Acido nítrico >60%					
Agua	x				x
Aire	x				
Alcohol		x			
Alquilato		x			
Amina	x				
Amoniaco					x
Argón	x		x		
Asfalto	x				
Benceno	x				
Bencina	x				
Bunker	x				
Butano	x				
Cloro	x				
Crudo	x				
Detergente	x				
Diesel	x	x			
Etano	x				
Etanol	x				
Freón 11,12	x	x			
Freón 22		x			
GLP	x				
Gas natural	x				
Gasoil	x				
Gasolina	x				
Grasa	x				
Isobutano	x				
Jet A1	x				
Kerosene	x				
Liga de freno					
Mercurio	x	x			
Metanol		x			
Nafta		x			
Nitrógeno	x	x			
Oxígeno	x	x			
Propano	x	x			
Soda cáustica	x				
Tetracloruro de carbono	x	x			



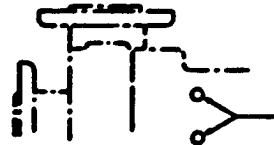
# **ANEXO No. 2**

## ***PLANES API PARA INSTALACION DE SELLOS MECANICOS***

Clean Pumpage

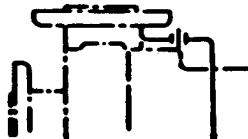


Plan 1  
Integral (internal) recirculation from pump discharge to seal.



Plan 2  
Dead-ended seal box with no circulation of flush fluid. Water-cooled box jacket and throat bushing required unless otherwise specified.

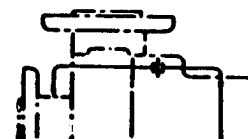
Plugged connections for possible future circulating fluid



Plan 11  
Recirculation from pump case through orifice to seal.



Plan 12  
Recirculation from pump case through strainer and orifice to seal.



Plan 13  
Recirculation from seal chamber through orifice and back to pump suction.



Plan 21  
Recirculation from pump case through orifice and cooler to seal.

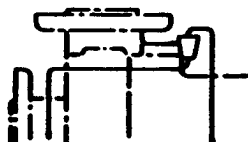


Plan 22  
Recirculation from pump case through strainer, orifice, and cooler to seal.

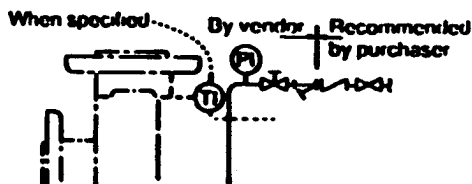


Plan 23  
Recirculation from seal with pumping ring through cooler and back to seal.

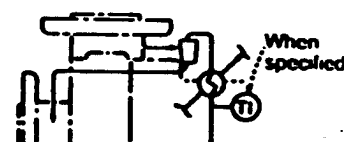
Dirty or Special Pumpage



Plan 31  
Recirculation from pump case through cyclone separator delivering clean fluid to seal and fluid with solids back to pump suction.



Plan 32  
Injection to seal from external source of clean fluid (see Note 2).



Plan 41  
Recirculation from pump case through cyclone separator delivering clean fluid through cooler to seal and fluid with solids back to pump suction.

Legend



Cooler

(PI) Pressure gage with block valve

(TI) Dial thermometer

(PS) Pressure switch with block valve



Cyclone separator

(FI) Flow indicator

Y-type strainer

Flow-regulating valve

Block valve

Check valve

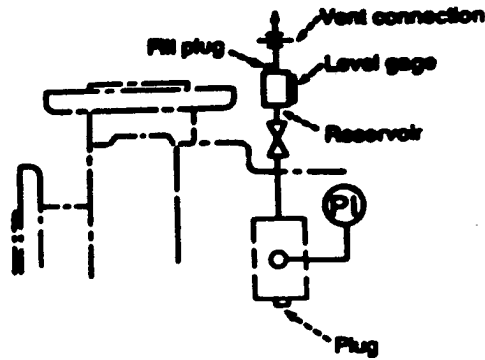
Orifice

NOTES:

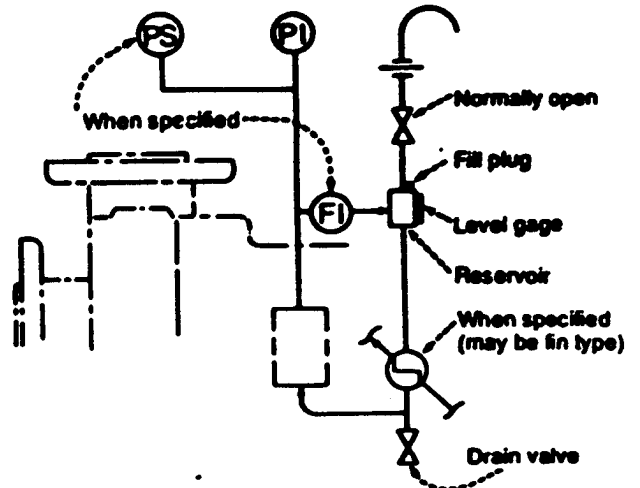
1. These plans represent commonly used systems. Other variations and systems are available and should be specified in detail by the purchaser or mutually agreed upon by the purchaser and the vendor.
2. For Plan 32, the purchaser shall specify the fluid characteristics, and the vendor shall specify the volume (gallons per minute) and pressure (pounds per square inch gage) required.

Figure D-2--(Plan) for Primary Seals

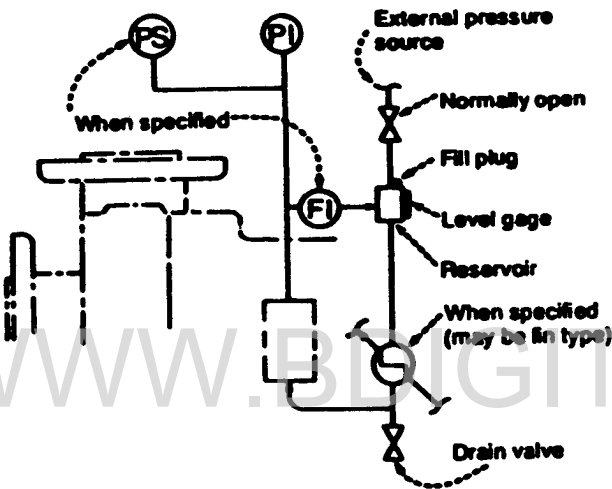
**CENTRIFUGAL PUMPS FOR GENERAL REFINERY SERVICES**



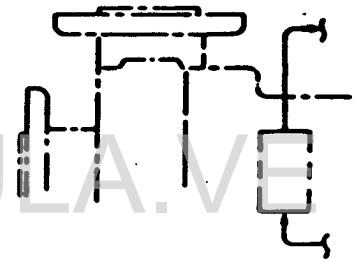
**Plan S1**  
Dead-ended blanket (usually methanol; see Note 2).



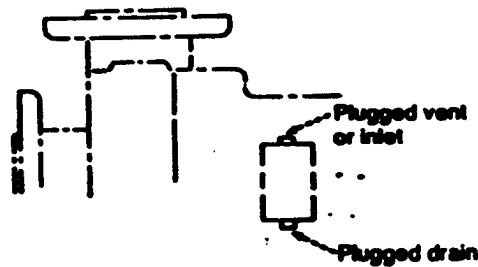
**Plan S2**  
External fluid reservoir (see Note 2), nonpressurized; thermosyphon or forced circulation, as required.



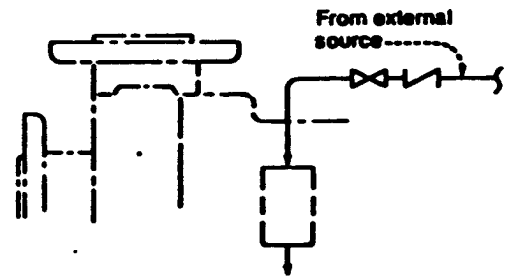
**Plan S3**  
External fluid reservoir (see Note 2), pressurized; thermosyphon or forced circulation, as required.



**Plan S4**  
Circulation of clean fluid from an external system (see Note 2).



**Plan S5**  
Tapped connections for purchaser's use; Note 2 shall apply when purchaser is to supply fluid (steam, gas, water, etc.) to auxiliary sealing device.



**Plan S6**  
External fluid quench (steam, gas, water, etc., see Note 2).

**Notes:**

1. These plans represent commonly used systems. Other variations and systems are available and should be specified in detail by the purchaser or mutually agreed upon by the purchaser and the vendor.
2. The purchaser shall specify the fluid characteristics when supplemental seal fluid is provided. The vendor shall specify the volume (gallons per minute) and pressure (pounds per square inch gage) required, where these are factors.
3. See Figure D-2 for explanation of symbols not specified here.

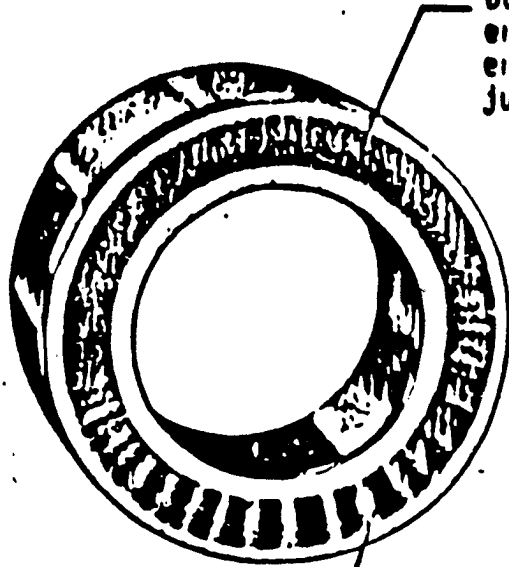
**Figure D-3—Piping for Throttle Pushing, Auxiliary Seal Device, Tandem Seals, or Double Seals**

# **ANEXO No. 3**

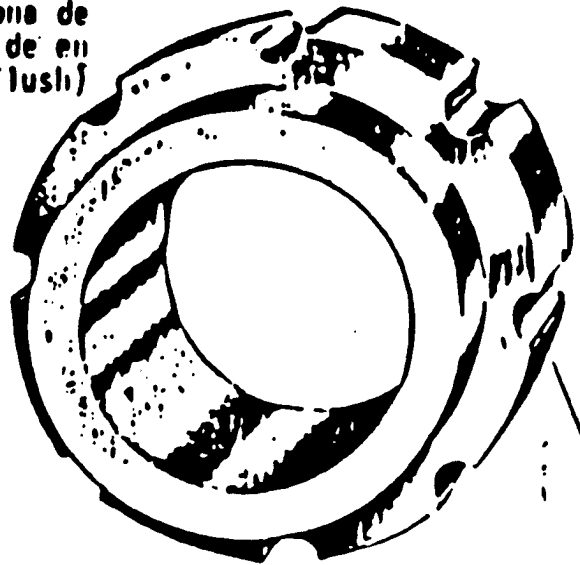
## ***FALLAS COMUNES EN LAS CARAS DE SELLOS MECANICOS***

**DESGASTE TERMICO**

Buen contacto  
en la zona de  
entrada de en  
juague (flush)



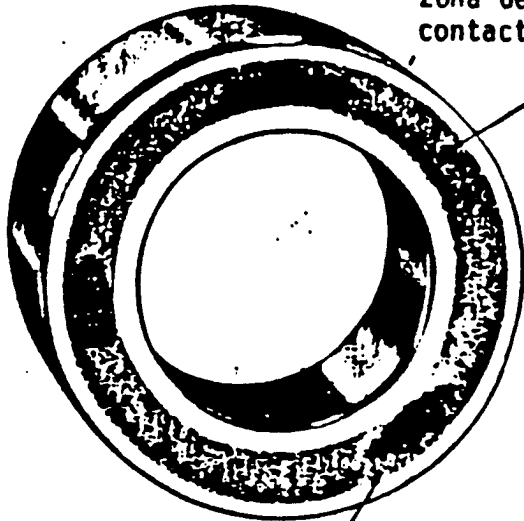
Zona deteriorada  
por el calor.



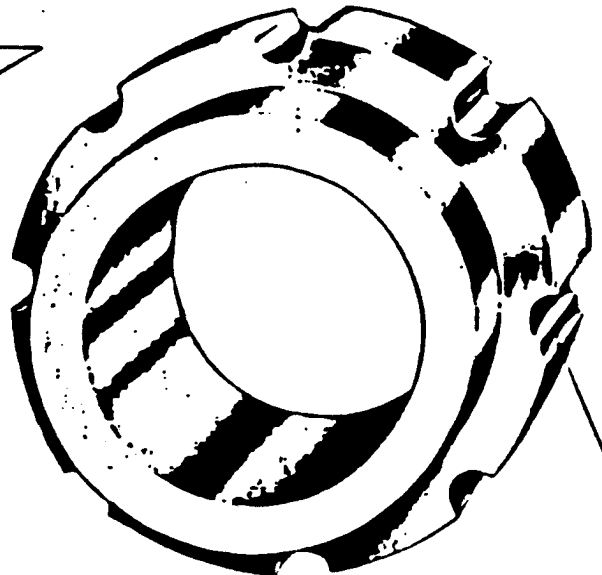
Posible desgaste en las  
ranuras de arrastre.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Zona de buen  
contacto



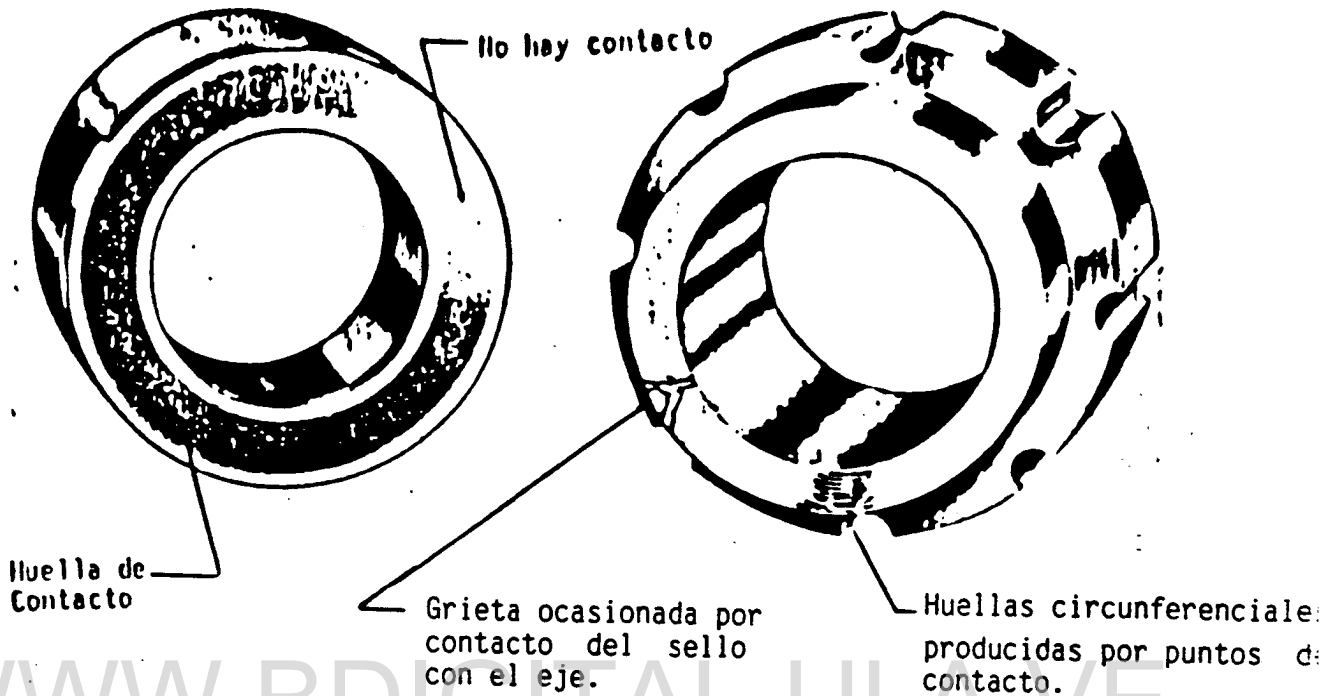
Zona deteriorada o  
punto caliente.



Posible desgaste en las  
ranuras de arrastre.

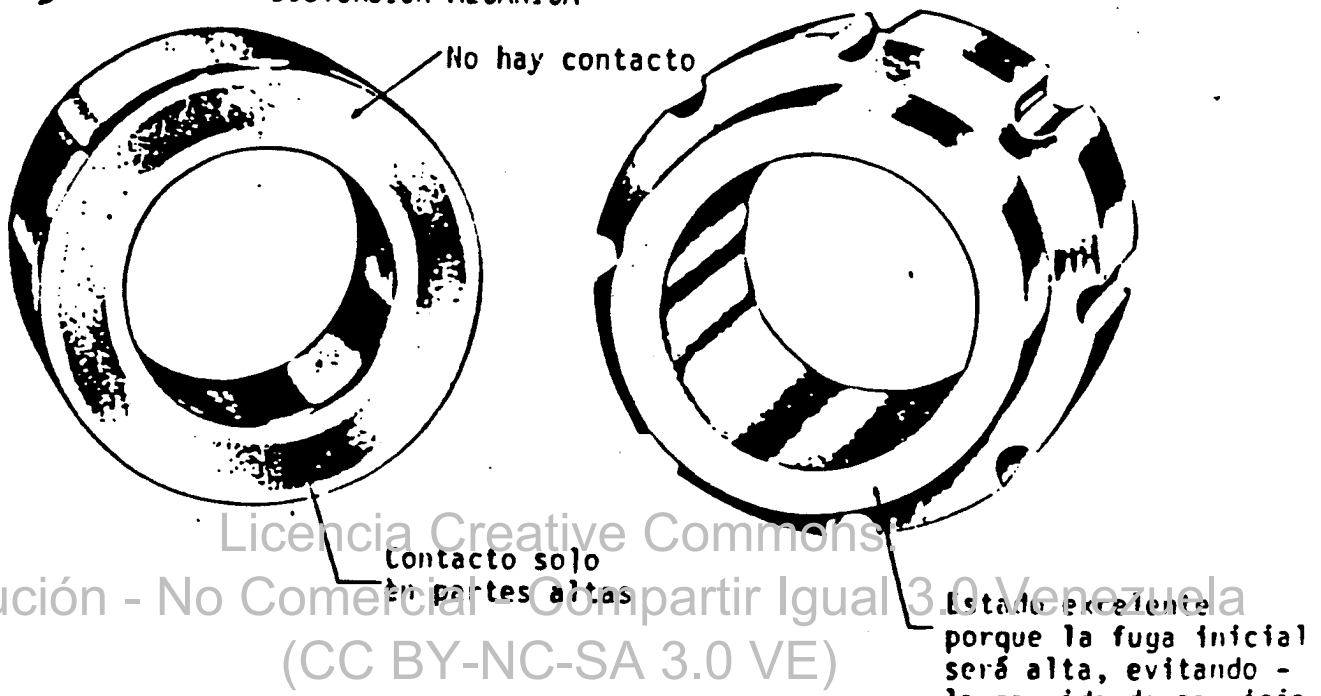
Licencia Creative Commons:  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

DISTORSION MECANICA



WWW.BDIGITAL.ULA.VE

DISTORSION MECANICA

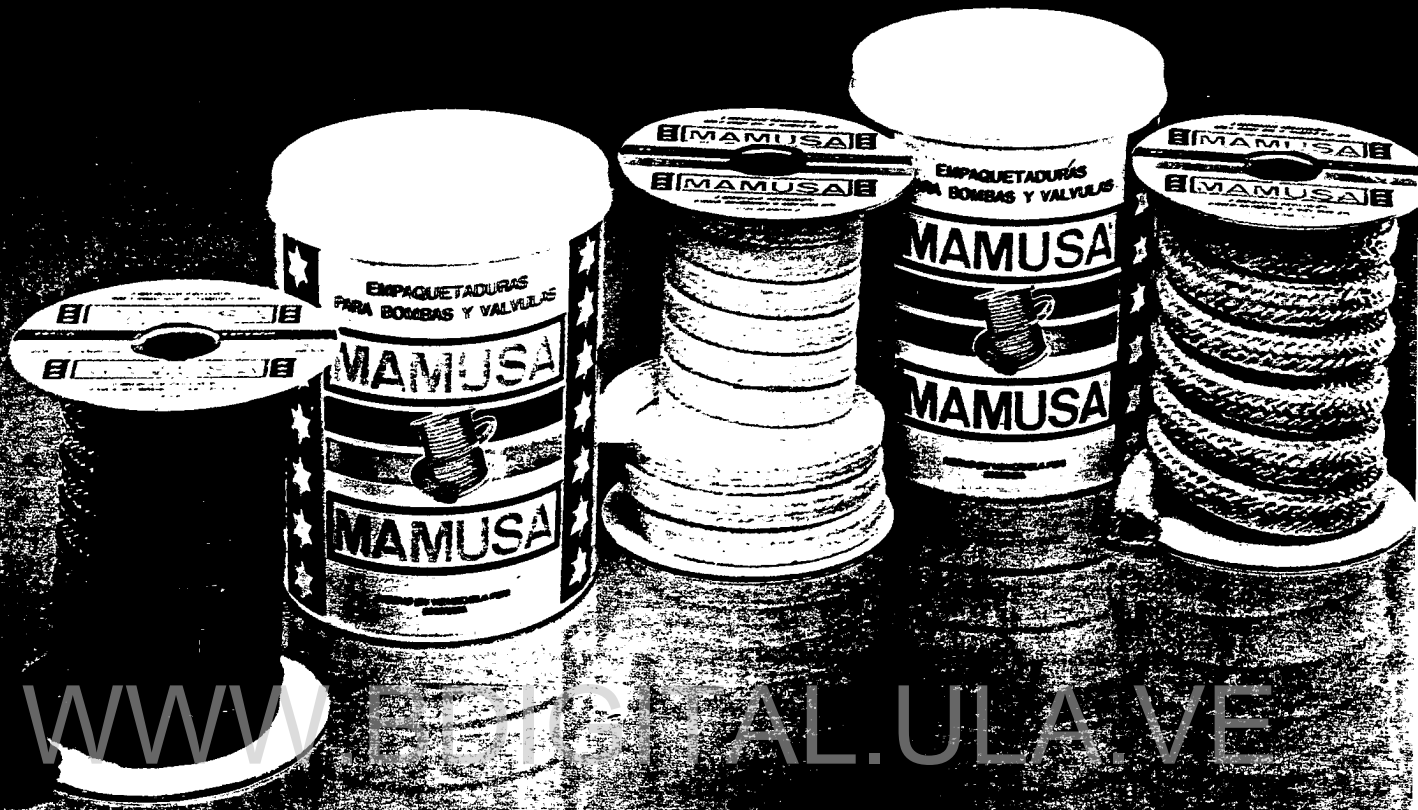


Licencia Creative Commons  
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

# **ANEXO No. 4**

## ***DIFERENTES TIPOS DE EMPAQUETADURAS***

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

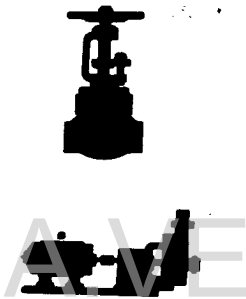


Licencia Creative Commons.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

ESTILO MM-3007-HN - MAMUSA  
EMPAQUETADURA GRAFITADA ALTAMENTE LUBRICADA



**ESPECIFICACION:**  
 Velocidad lineal: 9 m/s  
 Temperatura: Hasta 315°C  
 ph-rango: 4-10  
 Factor P x V: 325.000 Psi x Fpm.

**SERVICIO:**

Empaquetadura particularmente adecuada para bombas y válvulas que operen con agua caliente y otros líquidos comparativamente neutros hasta los 315°C, solventes como aceite, alcohol desnaturalizado, otros destilados, ácidos y álcalis más débiles. Para uso en vapor saturado a presiones bajas y medianas. Su servicio comúnmente incluye muchas aplicaciones en secadoras, calandrias, mezcladores y agitadores, línea de agua fresca, unidades de destilación, línea de refrigeración, diesel y aceites para lubricación.

**CONSTRUCCION:**

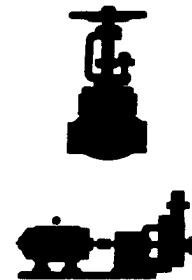
Estilo MM-3007-HN elaborado con fibras largas de amianto HN, previamente tratado individualmente con un compuesto especial resistente a altas temperaturas, lubricado con una combinación de aceite ligero a base de petróleo y compuestos altamente viscosos que le mejoran su capacidad de sellado, para luego ser trenzado en forma cuadrada. Su superficie externa es revestida con un lubricante de sacrificio mejorando su conductividad térmica. Completamente grafitada posteriormente.

DATOS APROXIMADOS			
MEDIDAS		PESO X METRO Gr/ML	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
3.2	1/8	15	1
4.8	3/16	37	1-3
6.3	1/4	67	1-3
7.9	5/16	100	1-3
9.5	3/8	150	1-3-5
11.1	7/16	209	1-3-5
12.7	1/2	253	1-2 1/2-5
14.3	9/16	298	2 1/2-5
15.9	5/8	357	2 1/2-5
19.1	3/4	521	2 1/2-5
22.2	7/8	700	5
25.4	1	968	5

Tolerancia Peso: ± 1%  
 Fabricador: medidas no especificadas: bajo pedido.

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

## ESTILO MM-3009-HN - MAMUSA EMPAQUETADURA DE SERVICIO GENERAL C/TEFLON



**ESPECIFICACION:**  
 Velocidad lineal: 10 m/s  
 Temperatura: + 260°C  
 ph-rango: 2-12  
 Factor P x V: 650.000 Psi x Fpm.

### SERVICIO:

El Estilo MM-3009-HN es una empaquetadura para servicio general que puede ser utilizada en numerosas y variadas aplicaciones en toda la planta: Bombas centrífugas, mezcladoras, válvulas y juntas de expansión en presencia de agua, vapor, solventes, ácidos débiles y álcalis hasta por encima de 260°C.

Su versatilidad, duración y rangos de aplicación la convierten realmente en una empaquetadura de servicio general, permitiendo la estandarización y reduciendo la cantidad de estilos de empaquetaduras necesarias, bajando los costos de inventario.

### CONSTRUCCION:

La empaquetadura de servicio general, MM-3009-HN, se fabrica a partir de fibras seleccionadas de amianto "HN", lubricadas hilo x hilo con suspensión de teflón bajo un proceso controlado que elimina el exceso de lubricante y lo dispersa uniformemente en la fibra "HN".

La distribución homogénea del teflón a través de toda la empaquetadura permite sellar totalmente la fibra, confiriéndole las características del lubricante: químicamente inerte y bajo coeficiente de fricción; con las ventajas de las empaquetaduras de amianto, fácil instalación y corte, sin problemas de expansión y largos periodos de asentamiento con ajustes continuos del prensa estopa.

El Estilo MM-3009-HN es luego entretrejado cuadrado recubriéndolo nuevamente con teflón, añadiéndole un lubricante adicional de sacrificio para reducir al mínimo los daños al eje y permitir la expansión durante el periodo de asentamiento.

DATOS APROXIMADOS			
MEDIDAS		PESO X METRO Gr/ML	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
3.2"	1/8"	21	1
4.8"	3/16"	50	1-3
6.4"	1/4"	65	1-3
7.9	5/16	111	1-3
9.5	3/8	153	1-3-5
11.1	7/16	209	1-3-5
12.7	1/2	253	1-21/2-5
14.3	9/16	313	21/2-5
15.9	5/8	372	5
19.1	3/4	521	5
22.2	7/8	834	5
25.4	1	1013	5

Tolerancia Peso  $\pm 10\%$   
 Medidas no especificadas: bajo pedido  
 \* Construcción ligeramente diferente

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

**ESTILO MM-3175 - MAMUSA**  
**RAMIO - NAVALON - SERVICIO MARINO**



**ESPECIFICACION:**  
**Temperatura: 100°C**  
**Velocidad: 9 m/s**  
**ph-rango: 6-8**  
**Factor P x V: 200.000 Psi x Fpm**

**SERVICIO:**

Empaquetadura de fibra vegetal -ramio- para servicio en agua fría, templada y en soluciones acuosas débiles. Particularmente adecuada para sellar el eje del tubo de popa en embarcaciones marinas, empaquetado exterior de émbolos de bombas alternativas, acumuladores, émbolos y arietes de equipos hidráulicos, trabajando siempre en contacto con agua fría.

**CONSTRUCCION:**

Elaborada con fibras de ramio seleccionadas de primera calidad, tratadas, lubricadas con grasas y aceites minerales especiales que le proveen una acción selladora efectiva, segura y duradera.

La fibra de ramio absorbe una gran cantidad de lubricante, es también sumamente estable y no se hincha en servicio como el lino o el yute. Las fibras de ramio aumentan su fortaleza cuando se mojan; requiriendo solamente una presión mínima del prensa estopa, después de asentarse, para que de un goteo mínimo controlado sin calentarse. De construcción trenzada cuadrada.

DATOS APROXIMADOS			
MEDIDAS		PESO X METRO Gr/ML	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
6.3	1/4	44	3
7.9	5/16	67	3
9.5	3/8	94	3
12.7	1/2	179	2 1/2-5
15.9	5/8	268	2 1/2-5
19.1	3/4	387	2 1/2-5
22.2	7/8	-	5
25.4	1	700	5

Dimensiones Precio: Métrica + 2 P  
 Fabricación: medidas no especificadas: Bajo pedido

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

## ESTILO MM-3222-HN - MAMUSA EMPAQUETADURA PARA VALVULAS



**ESPECIFICACION:**  
Temperatura: Hasta 315°C  
Presión: Hasta 300 Psi

### SERVICIO:

Empaquetadura para válvulas a bajas temperaturas y bajas presiones.

MM-3222-HN-MAMUSA, ha sido diseñada especialmente para cubrir las necesidades de la pequeña y mediana industria en servicios de vástagos de válvulas, ejes con movimiento alternativo u oscilante que operen a bajas velocidades.

MM-3222-HN-Mamusa es considerada la empaquetadura universal para válvulas, debido a su construcción redonda que le permite amoldarse fácilmente a las irregularidades del prensa estopas.

### CONSTRUCCION:

El Estilo MM-3222-HN-Mamusa está fabricado con fibras largas de amianto HN, tratadas individualmente con lubricantes de bloqueo, resistentes a altas temperaturas.

De sección transversal redonda, tejida capa sobre capa y acabado externo totalmente lubricado con inhibidores de la corrosión.

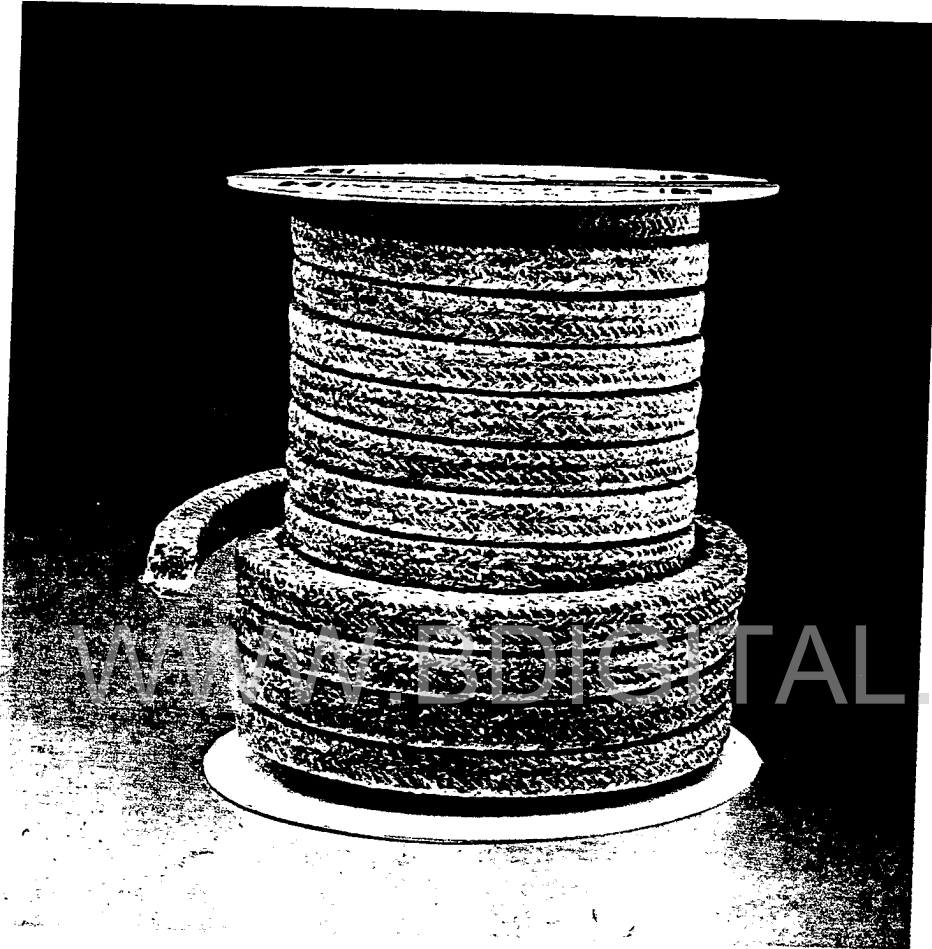
### DATOS APROXIMADOS

MEDIDAS		PESO X METRO Gr/ML	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
3.2	1/8	15	1
4.8	3/16	30	1
6.3	1/4	52	1-3
7.9	5/16	78	1-3
9.5	3/8	100	1-3
11.1	7/16	150	1-3
12.7	1/2	186	1-2 1/2
14.3	9/16	238	2 1/2-5
15.9	5/8	298	2 1/2-5
19.1	3/4	417	2 1/2-5
22.2	7/8	596	2 1/2-5
25.4	1	789	2 1/2-5

Fabricación Peso x Metro:  $\pm 10\%$   
Fabricación medidas: No se especifica: 3a o p. d. 2.

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

**ESTILO MM-3253-HN - MAMUSA**  
**EMPAQUETADURA PARA PLANTA DE PAPEL**



**ESPECIFICACION:**  
**Temperatura: 260°C**  
**ph-rango: 4 - 10 inclusive**  
**Factor P x V: 525.000 Psi x Fpm**

**SERVICIO:**

Estilo especialmente diseñada para industrias que requieren una empaquetadura que no manche ni contamine el producto que procesan. El MM-3253-HN es recomendada para la industria de la pulpa y el papel, industria de cosméticos, fábrica de jabones en pastillas y en polvo. En general, donde la contaminación del proceso afecte la calidad del producto.

**CONSTRUCCION:**

Esta empaquetadura de sección transversal cuadrada y de construcción entretejida está fabricada con fibras largas de amianto HN, fibras impregnadas una por una con lubricantes no migrantes y con aceites ligeros a base de petróleo.

Su superficie externa está tratada con un lubricante de sacrificio lo cual garantiza que durante el arranque y el periodo de asentamiento de la empaquetadura, ésta no sufra los daños irreparables del calor excesivo que se genera en este periodo. No contiene grafito.

**DATOS APROXIMADOS**

MEDIDAS		PESO X METRO Gr/ML.	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
3.2*	1/8*	21	1
4.7*	3/16*	50	1
6.4*	1/4*	67	1-3
8	5/16	100	1-3
9.6	3/8	150	1-3
11.1	7/16	209	1-3
12.3	1/2	268	1-21/2
14.3	9/16	313	21/2-5
16.	5/8	357	21/2-5
19.	3/4	477	21/2-5
22.2	7/8	685	21/2-5
25.1	1	968	21/2-5

Tolerancia Peso x Metro: ± 10%  
 Medidas no especificadas en el dibujo  
 \* Construcción: ligeros diferencia

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

## ESTILO MM-3255-HN - MAMUSA EMPAQUETADURA GRAFITADA PARA BOMBAS CENTRIFUGAS



### ESPECIFICACION:

Velocidad: 10 m/Seg.

Temperatura: Hasta 315°C

ph-rango: 3-11

Factor P x V: 525.000 Psi x Fpm.

### SERVICIO:

Empaquetadura de servicio industrial general de bombas centrifugas que manejan liquidos calientes: agua, alcohol, ácidos, débiles y sustancias causticas, aceites y solventes. El estilo MM-3255-HN Mamusa ofrece una excelente vida útil, bajo número de reempaquetamiento, un minimo de ajustes al prensa estopa, y menos mantenimiento, aumentando la productividad del equipo.

### CONSTRUCCION:

El estilo MM-3255-HN se elabora a partir de fibras largas de amianto "HN", totalmente lubricadas hilo por hilo con aceites ligeros, grasas y otros lubricantes, fabricándose en construcción entretejido cuadrado que posibilita una empaquetadura más densa, estable y de diseño más uniforme.

El proceso de impregnación controlado permite remover todo exceso de lubricante antes de ser grafitado.

El Estilo MM-3255-HN contiene disulfuro de molibdeno (MoS<sub>2</sub>) que reduce el desgaste del eje debido a que suaviza el contacto entre la fibra y el metal. Sin embargo, posee propiedades lubricantes muy altas que se adhieren fuertemente a los ejes metálicos. Contiene también un lubricante de sacrificio.

### DATOS APROXIMADOS

MEDIDAS		PESO X METRO Gr/Mt.	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
6.4*	1/4*	67	1-3
7.9	5/16	100	1-3
9.5	3/8	150	1-3
11.1	7/16	209	1-3
12.3	1/2	268	1-21/2
14.3	9/16	313	21/2-5
15.9	5/8	357	21/2-5
19.1	3/4	477	21/2-5
12.2	7/8	685	21/2-5
25.4	1	968	21/2-5

Tolerancia (Pulg.) Medida: ± 10%  
Medidas no especificadas: Bajo pedido  
\* Construcción ligeramente diferente

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

ESTILO MM-3397-HN - MAMUSA  
EMPAQUETADURAS PARA VALVULAS DE VAPOR



**ESPECIFICACION:**  
Temperatura: 650°C, en línea  
Presiones: Hasta 5.000 Psi  
ph-rango: 4-8

## SERVICIO:

Empaquetadura desarrollada especialmente para aplicaciones en válvulas de vapor. Para todos los rangos de temperaturas y presiones, vapor sobrecalentado o saturado. Para vástago de válvulas de vapor hasta 650°C, en turbinas, juntas de expansión, sopladores de hollín y ejes de baja velocidad con líquidos que se solidifican.

## CONSTRUCCION:

El estilo MM-3397-HN consta de un alma de amianto 100% puro, combinado con grafito, tratado con un inhibidor de la corrosión y otros elementos que mejoran su comportamiento, evitando el endurecimiento.

El alma plástica de alta calidad del estilo se recubre con una chaqueta de alta calidad, inserto con alambre Inconel para mayor resistencia a elevadas presiones y temperaturas.

Posteriormente la empaquetadura se lubrica con disulfuro de tungsteno para evitar la electrolisis, dañina en equipo de servicio estático.

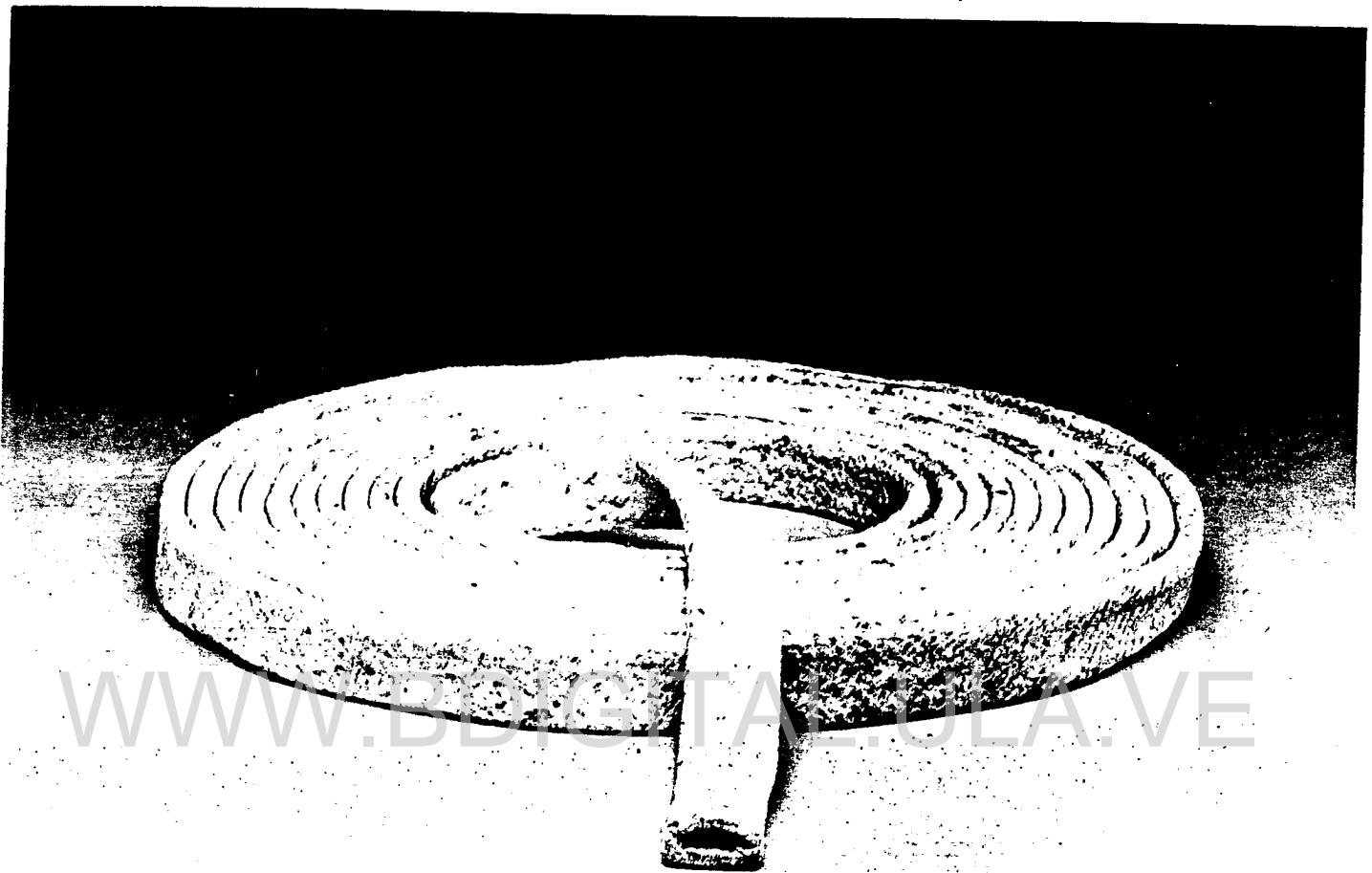
## DATOS APROXIMADOS

MEDIDAS		PESO X METRO Gr/ML	EMPAQUES DISPONIBLES (Kg)
mm	Pulg.		
3.2	1/8	22	1
4.7	3/16	52	1-3
6.4	1/4	74	1-3
8.	5/16	115	1-3
9.6	3/8	164	1-3-5
11.1	7/16	209	1-3-5
12.3	1/2	253	1-21/2-5
14.3	9/16	313	21/2-5
16.0	5/8	357	5
19.0	3/4	506	5
22.2	7/8	670	5
25.4	1	819	5

Consta de un elemento diferente  
Tolerancia Peso x Metro: ± 10%  
Medidas no especificadas: Por pedido

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

ESTILO MM-3011-HN



## SERVICIO:

Empacadura en rollo para sellado de bridas de cualquier diámetro en reactores, tapas de tanques, domos y tuberías de la industria en general.

Este nuevo diseño de Empacadura en rollo Mamusa permite cortar a la medida deseada, moldearla, unir tramos, etc. fácilmente sin recurrir a trabajos previos y cálculos: El estilo MM-3011-HN se conforma perfectamente al diámetro de la brida o a las irregularidades evitando la fuga.

## CONSTRUCCION:

Elaborada a partir de fibras de amianto HN impregnadas hilo x hilo con dispersión de teflón, que le confieren gran inercia química. Su tejido de alta densidad le proporciona la sellabilidad y flexibilidad que requiere en aplicaciones de hasta 260° C, sin peligro de extruirse.

Estilo MM-3011 se elabora bajo solicitud del cliente en otros materiales y medidas especiales: Fibras de vidrio, teflón, teflón expandido o grafito puro, etc.

## ESPECIFICACION:

Temperatura: 260° C

ph-rango: 2-12

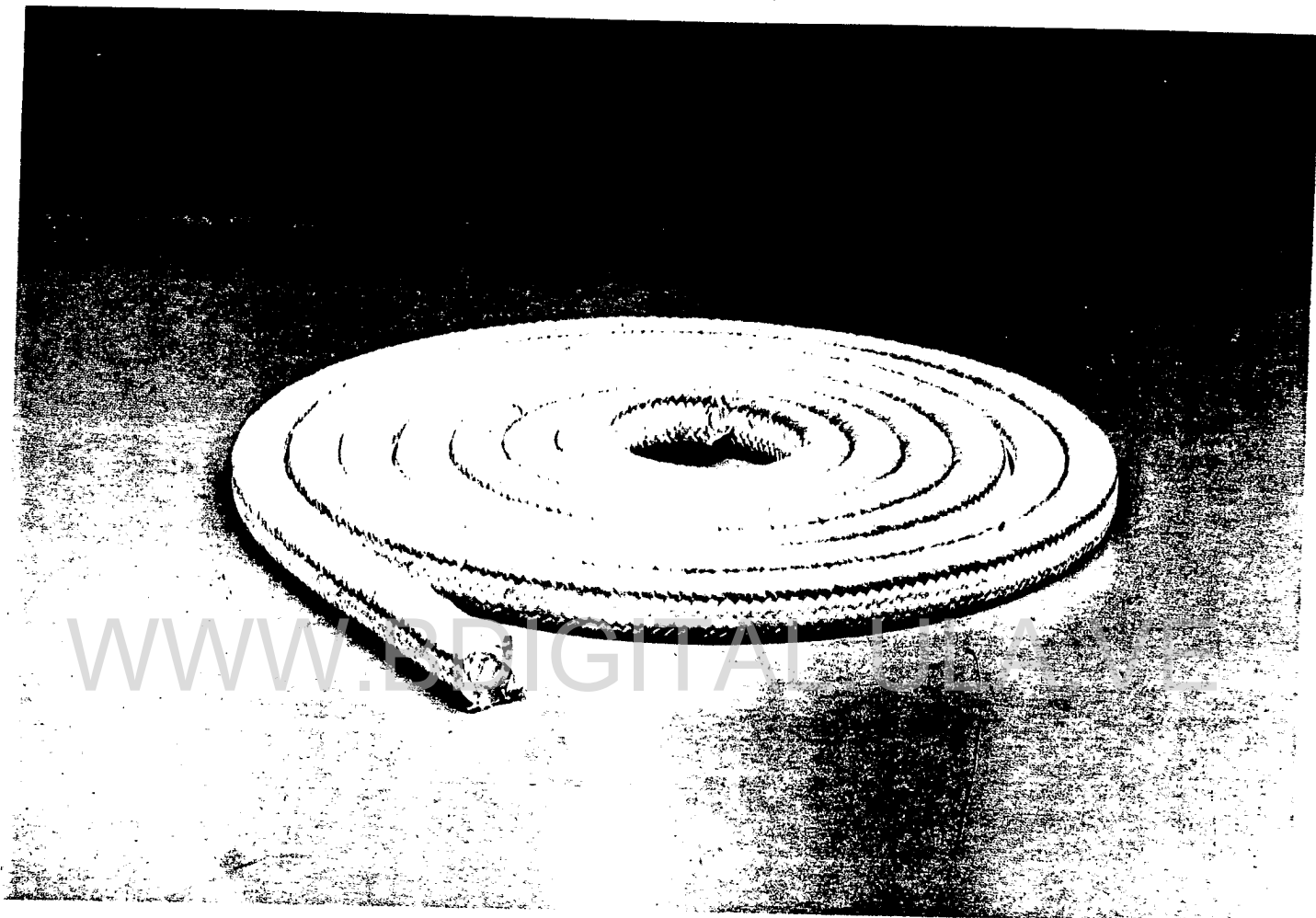
License: Creative Commons:

Atribución-NoComercial-Compartir Igual 3.0 Venezuela

(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

**ESTILO MM-5311 - MAMUSA**  
**EMPAQUETADURA ANTIEXTRUSION - KEVLAR + TEFLON**



## **SERVICIO:**

Empaquetadura de alta resistencia para servicio en bombas, equipos recíprocos y helicoidales, en presencia de líquidos con alto contenido de partículas sólidas en suspensión.

Combina la alta resistencia de acero del kevlar con las excelentes características de inercia química y propiedades antifricción del teflon.

Esta diseñada para resistir los esfuerzos de extrusión por la alta resistencia de las esquinas kevlar, garantizando una estabilidad dimensional para una larga duración.

No mancha.

## **CONSTRUCCION:**

Elaborada a partir de fibras de teflon puro en un exclusivo entretrejo cuadrado con esquinas de fibras de kevlar; lubricadas hilo x hilo dispersión de TFE y otros lubricantes para mayor resistencia a la migración, impregnado con disipadores de calor para evitar quemaduras de la empaquetadura permitiéndole altas velocidades y gran inercia química.

## **ESPECIFICACION:**

**Temperatura:** Hasta 260° C;

**Ph-rango:** 3 a 10

**Velocidad:** Hasta 12 m/s.

**Presión:** 500 Psi en servicio dinámico

Libre para Creative Commons:

Atribución - No Comercial Compartir Igual 3.0 Venezuela

(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

# EMPAQUETADURAS MECANICAS

## ESTILO MM-5317 - MAMUSA EMPAQUETADURA DE KEVLAR PARA SERVICIO ABRASIVO Y SEVERO

### SERVICIO:

Empaquetadura de servicio general, para bombas y vástagos de válvula, donde se exija una empaquetadura resistente para usos a altas presiones, equipos desajustados y fluidos abrasivos.

### CONSTRUCCION:

Empaquetadura elaborada a partir de la fibra kevlar, fibra aramídica de alta resistencia, impregnada con una dispersión de fluorocarbono TFE y tratada con un lubricante de alta temperatura para aplicaciones de empaquetaduras para bombas. El Estilo MM-5317-Mamusa es de construcción entretejida para darle mayor estabilidad dimensional mayor capacidad de sellado para altas presiones, o condiciones de desgaste del equipo.

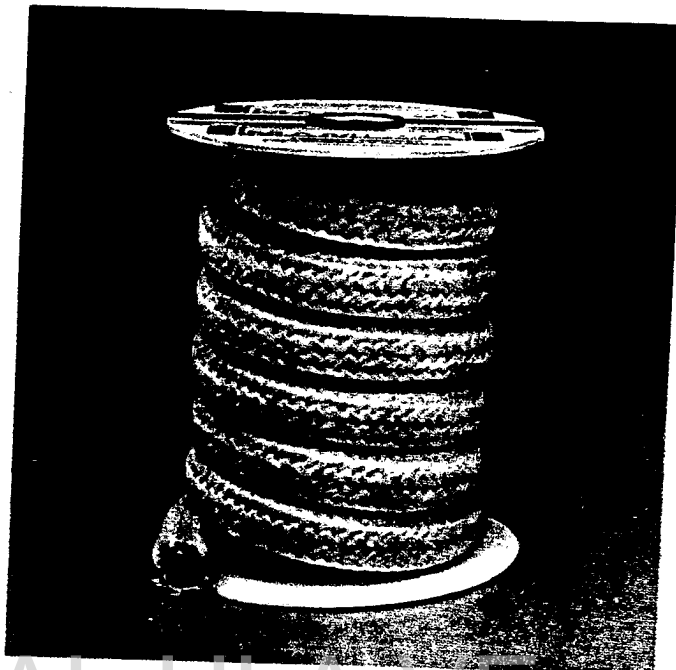
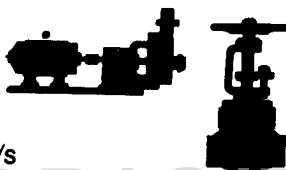
Datos aproximados ver Pág. 32

### ESPECIFICACION:

Temperatura: hasta 260°C (500°F)

ph-rango: 3 a 11

Velocidad: Aplicaciones hasta 10 m/s



## ESTILO MM-5320 - MAMUSA TEFLON + GRAFITO PARA ALTAS VELOCIDADES

### SERVICIO:

Empaquetadura de alta velocidad para bombas; combinando las propiedades del teflón y el grafito proporcionan una empaquetadura que resiste el desgaste a altas tempe-

raturas, sin rayar la camisa, disipando rápidamente el calor y durando mucho más tiempo.

### CONSTRUCCION:

Elaborada a partir de una fibra resistente de tetrafluór etileno (PTFE) que actuando como una matriz expandida recibe partículas finísimas de grafito de alta calidad, quedando atrapadas, evitando su migración; el teflón es uno de los componentes actualmente disponibles más resistentes a la acción química y junto con el grafito que permite la transmisión del calor generado en el eje hacia la caja, permiten elaborar una empaquetadura con un coeficiente de fricción mucho más bajo que las de 100% PTFE o una combinación PTFE con suspensión de PTFE.

Construcción entretejida cuadrada, con lubricante para un rápido asentamiento.

Datos aproximados ver Pág. 32

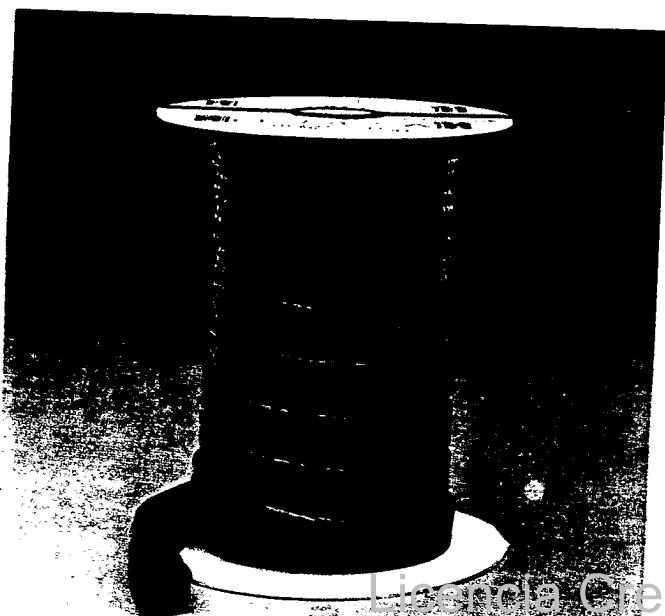
### ESPECIFICACION:

Temperatura: hasta 260°C (500°F), y en algunos casos hasta 288°C (550°F) de acuerdo al desempeño que preste el lubricante

ph-rango: 0 - 14

Velocidad: Hasta 20 m/s

Factor P x V: 700.000 (Psi x Fpm)



# EMPAQUETADURAS MECANICAS

## ESTILO MM-5001 - MAMUSA EMPAQUETADURA DE GRAFITO PURO DE USO UNIVERSAL

### SERVICIO:

Empaquetadura autolubricada de uso general para bombas de alta revolución, mezcladores, ventiladores y equipos que operen con temperaturas hasta por encima de 1.000°C.

Su construcción, características y pureza garantizan una larga vida útil en servicios combinados de alta temperatura y alta velocidad con ataque severo de agentes químicos.

### CONSTRUCCION:

Estilo MM-5001-Mamusa es una empaquetadura elaborada de 100% puro grafito, en construcción entretejida, que provee:

- Alta conductividad térmica
- Excelente resistencia química
- Bajo coeficiente de fricción
- Pérdida mínima de su volúmen a alta temperatura

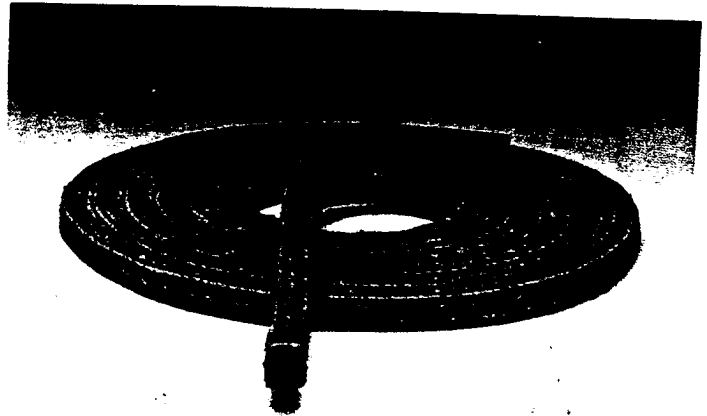
### ESPECIFICACION:

**Velocidad Lineal:** 25m/s

**Temperatura:** +1.000°C en ambiente oxidante hasta 430°C.

**ph-rango:** 0-14. A excepción de óleum, ácido nítrico hirviendo y fluór.

Datos aproximados ver Pág. 32



## ESTILO MM-5011 - MAMUSA EMPAQUETADURA DE TEFLON PARA VALVULAS

### SERVICIO:

Empaquetadura de teflón para válvulas en general, válvulas de control, vástagos alternativos y ejes centrífugos de baja velocidad

Empaquetadura químicamente inerte, no pica ni raya el vástago de la válvula; proporcionando una mayor vida útil por su firmeza y densidad. Se obtienen excelentes resultados en los factores de comprensibilidad y recuperación por su proceso especial de lubricación.

### CONSTRUCCION:

Intertrenzado cuadrado a partir de fibras de teflón puro, lográndose una empaquetadura perfectamente cuadrada para un mejor contacto de superficie y excelente sellado. El Estilo MM-5011-Mamusa es una empaquetadura densa y firme que es previamente lubricada con una dispersión de TFE, el cual rellena y sella todos los entersticios en las fibras de la empaquetadura mejorando sus características de servicio.

Esta empaquetadura es secada posteriormente, impidiendo cualquier absorción.

Datos aproximados ver Pág. 32

### ESPECIFICACION:

**Temperatura:** 260°C (500°F)

**ph-rango:** 0 - 14

**Velocidad:** Limitado en su servicio, hasta una velocidad de 3m/seg. (600 pie/min).

