



# Estudio sobre Bombas Centrífugas y Sellos Mecánicos

## Estudio sobre Bombas Centrífugas y Sellos Mecánicos

### Introducción

Las bombas centrífugas y los sellos mecánicos son componentes esenciales en la industria moderna, donde se requieren sistemas robustos y eficientes para la transferencia de fluidos. Estas tecnologías se aplican en una variedad de sectores como petróleo y gas, energía, minería, manufactura, alimentación y bebidas, farmacéutica, entre otros. La necesidad de un servicio eficiente y continuo en estas instalaciones industriales exige un conocimiento profundo de su operación, fallas comunes y estrategias de mantenimiento. Este estudio se enfoca en proporcionar una comprensión integral de las bombas centrífugas y los sellos mecánicos, analizando sus tipos, rangos de operación, fallas comunes y mejores prácticas de mantenimiento, así como los estándares internacionales como API 682 para los sistemas de sellado.



### MÓDULO I: Tipos de Bombas Centrífugas, Propiedades de los Fluidos y Ecuaciones Básicas

#### 1.1 Tipos de Bombas Centrífugas y Principio de Funcionamiento

Las bombas centrífugas funcionan mediante la conversión de la energía mecánica de un impulsor en energía cinética y luego en presión. Este proceso permite el movimiento de líquidos a través de un sistema cerrado. Existen múltiples tipos de bombas centrífugas, cada una diseñada para adaptarse a distintas aplicaciones industriales.

- **Bomba Centrífuga de Succión Simple:** Estas bombas tienen una sola entrada de fluido en el centro del impulsor. Son las más comunes y usadas en aplicaciones donde las demandas de flujo no son extremas.



- **Bomba Centrífuga de Succión Doble:** Estas bombas tienen dos entradas de fluido al impulsor, lo que permite una mejor distribución del flujo y reduce el riesgo de cavitación. Son ideales para caudales altos.



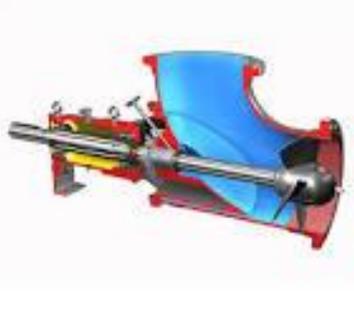
- **Bomba Multietapa:** Utilizan varios impulsores dispuestos en serie para generar mayores presiones. Son esenciales en aplicaciones que requieren altas presiones, como en sistemas de agua a gran altura o aplicaciones de petróleo y gas.



- **Bomba de Flujo Radial:** En este tipo de bomba, el fluido ingresa de manera axial y es expulsado de manera radial. Son muy eficientes en términos de conversión de energía cinética en presión, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de alta presión.



- **Bomba de Flujo Axial:** Se utilizan para mover grandes volúmenes de fluido a bajas presiones, como en sistemas de refrigeración y drenaje de aguas.



- **Bomba Autocebante:** Son capaces de expulsar aire en la línea de succión para iniciar el cebado sin intervención externa. Son útiles en sistemas donde las condiciones de succión no siempre son ideales.



## 1.2 Curvas Características de las Bombas Centrífugas

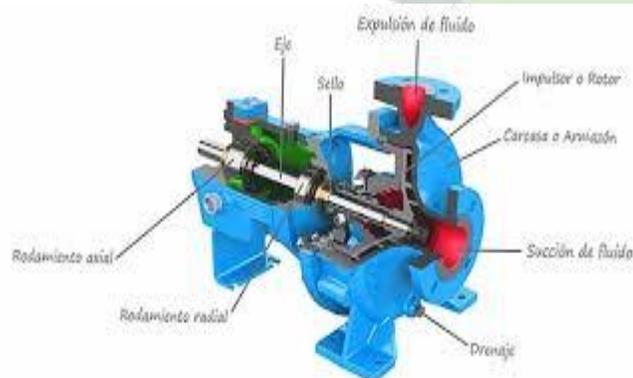
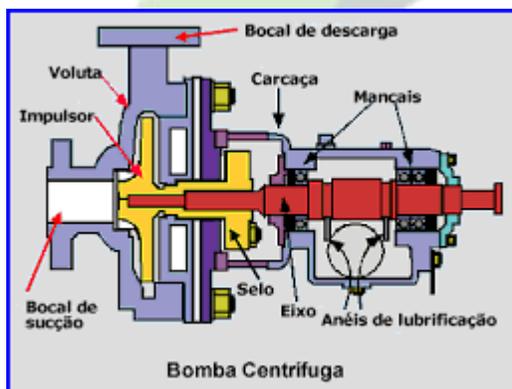
Las curvas características son gráficas que muestran la relación entre varias variables de rendimiento de una bomba centrífuga, como el caudal (Q), la presión o altura manométrica (H), la potencia absorbida (P), la eficiencia ( $\eta$ ) y el NPSH (Net Positive Suction Head).

- **Curva Caudal-Presión:** Muestra cómo cambia la presión generada por la bomba con el caudal. A medida que aumenta el caudal, la altura manométrica disminuye.
- **Curva de Eficiencia:** Relaciona el caudal con la eficiencia de la bomba. La máxima eficiencia se alcanza en el llamado "Best Efficiency Point" (BEP), que es el punto de operación ideal para la bomba.
- **Curva de Potencia Absorbida:** Indica la potencia requerida por la bomba en función del caudal. Esta curva es útil para seleccionar el motor de accionamiento adecuado.
- **Curva de NPSH Requerido:** El NPSH requerido es la cantidad mínima de presión en la entrada de la bomba necesaria para evitar cavitación. Esta curva ayuda a diseñar sistemas de succión adecuados para evitar daños por cavitación.

## 1.3 Componentes Principales de las Bombas Centrífugas

Una bomba centrífuga está compuesta por varios elementos, cada uno desempeñando un papel fundamental en su operación:

- **Impulsor:** Es la parte rotatoria que transfiere energía al fluido. Los impulsores pueden ser cerrados, semiabiertos o abiertos, dependiendo del diseño y del tipo de fluido que se esté manejando.
- **Eje:** Conecta el impulsor con el motor y transmite la energía mecánica necesaria para hacer girar el impulsor.
- **Carcasa o voluta:** Es el elemento estático que recibe el fluido acelerado por el impulsor y lo canaliza hacia la salida, convirtiendo la energía cinética en presión.
- **Sello mecánico:** Evita las fugas de fluido alrededor del eje.
- **Cojinetes:** Soportan el eje y aseguran su rotación suave sin desviaciones que podrían dañar el equipo.



## 1.4 Propiedades de los Fluidos

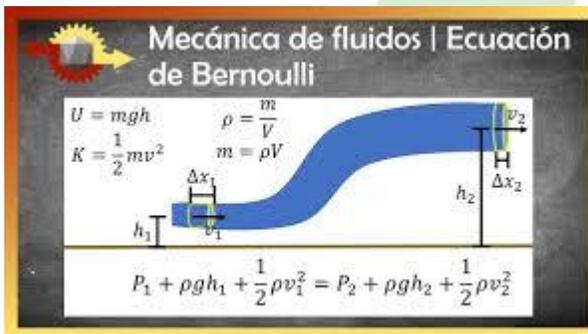
El comportamiento de una bomba centrífuga está fuertemente influenciado por las propiedades físicas del fluido, como la densidad, la viscosidad, y la temperatura. Estos factores afectan el rendimiento y la selección de los componentes de la bomba.

- **Densidad:** Influye en la potencia necesaria para mover el fluido. Los líquidos más densos requieren más energía para ser bombeados.
- **Viscosidad:** Los líquidos altamente viscosos aumentan las pérdidas por fricción dentro de la bomba, lo que reduce la eficiencia.

## 1.5 Ecuaciones Básicas de la Mecánica de Fluidos

Las bombas centrífugas están gobernadas por principios de la mecánica de fluidos, como la ecuación de Bernoulli y la conservación de la energía. Estas ecuaciones son esenciales para el diseño y la operación de sistemas de bombeo eficientes.

- **Ecuación de Bernoulli:** Relaciona la presión, la velocidad y la altura de un fluido en movimiento, y es fundamental para entender el comportamiento del fluido dentro de la bomba.
- **Ecuación de la energía:** Establece que la energía total de un fluido (cinética, potencial y de presión) permanece constante en un sistema cerrado, salvo que se añada o retire energía.



## MÓDULO II: Operación de Bombas Centrífugas y Diseño de Sistemas de Bombeo

### 2.1 Leyes de Afinidad

Las leyes de afinidad son principios que describen cómo cambian las características de una bomba centrífuga cuando se altera la velocidad de rotación o el diámetro del impulsor. Estas leyes permiten prever el comportamiento de una bomba bajo diferentes condiciones operativas:

- **Caudal:** Proporcional a la velocidad del impulsor ( $Q \propto N$ ).
- **Altura Manométrica (H):** Proporcional al cuadrado de la velocidad del impulsor ( $H \propto N^2$ ).
- **Potencia (P):** Proporcional al cubo de la velocidad del impulsor ( $P \propto N^3$ ).

Estas relaciones son fundamentales para redimensionar bombas existentes o para seleccionar nuevos equipos bajo diferentes condiciones operativas.

## 2.2 Pérdidas por Fricción en Tuberías y Accesorios

El diseño adecuado de un sistema de bombeo debe considerar las pérdidas de energía debidas a la fricción en las tuberías, válvulas y otros accesorios. Las pérdidas se calculan utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Donde  $hf$  son las pérdidas por fricción,  $f$  es el factor de fricción,  $L$  es la longitud de la tubería,  $D$  es el diámetro,  $v$  es la velocidad del fluido y  $g$  es la aceleración debido a la gravedad. Estas pérdidas afectan el rendimiento global del sistema y deben ser minimizadas a través de un diseño cuidadoso.

## 2.3 Cavitación y NPSH

La cavitación es uno de los problemas más comunes y destructivos en las bombas centrífugas. Ocurre cuando la presión en la entrada de la bomba cae por debajo de la presión de vapor del líquido, lo que causa la formación de burbujas de vapor. Estas burbujas colapsan violentamente cuando entran en zonas de mayor presión dentro de la bomba, lo que puede dañar los componentes.

Para evitar la cavitación, es crucial que el **NPSH disponible** (la presión en la entrada de la bomba) sea mayor que el **NPSH requerido** (la presión mínima necesaria para evitar la cavitación).

- **NPSH disponible (NPSH-A)**: Es la presión neta en la entrada de la bomba, calculada restando las pérdidas por fricción en la línea de succión de la presión disponible.
- **NPSH requerido (NPSH-R)**: Es la presión mínima que debe existir en la entrada de la bomba para evitar cavitación, y está especificado por el fabricante.

## MÓDULO III: Selección y Mantenimiento de Equipos de Bombeo

### 3.1 Selección de Equipos de Bombeo

La selección adecuada de una bomba centrífuga depende de varios factores críticos:

- **Tipo de bomba**: Según el tipo de fluido (agua, hidrocarburos, fluidos corrosivos) y las condiciones de operación (caudal, presión, temperatura).
- **Velocidad de operación**: Se selecciona para evitar fenómenos indeseables como la cavitación y la vibración excesiva.
- **Materiales de construcción**: Deben seleccionarse según las propiedades corrosivas, abrasivas o erosivas del fluido.

La elección correcta de la bomba asegura un funcionamiento eficiente y evita fallas prematuras. Las bombas pueden seleccionarse para trabajar en paralelo o en serie, según las necesidades del sistema.

### 3.2 Mantenimiento de Bombas Centrífugas

Existen varios enfoques de mantenimiento para las bombas centrífugas, cada uno con sus propios beneficios y desafíos:

- **Mantenimiento preventivo:** Implica la inspección y el reemplazo de componentes antes de que ocurra una falla. Este tipo de mantenimiento se basa en intervalos de tiempo predefinidos y es común en muchas industrias.
- **Mantenimiento predictivo:** Se basa en la supervisión continua de las condiciones de la bomba, como la vibración, la temperatura y el caudal. Las técnicas avanzadas de análisis, como el análisis de vibraciones y el análisis de aceite, permiten detectar anomalías antes de que causen fallas catastróficas.
- **Mantenimiento correctivo:** Consiste en reparar o reemplazar los componentes de la bomba después de que han fallado. Aunque este enfoque puede ser más barato en el corto plazo, puede resultar en un mayor tiempo de inactividad y costos a largo plazo.

El mantenimiento adecuado también incluye la alineación precisa del eje, la verificación del estado del impulsor y del sello mecánico, y la lubricación adecuada de los cojinetes.

## MÓDULO IV: Fundamentos de Sellado y Sellos Mecánicos

### 4.1 Dispositivos de Sellado

El sellado del eje de una bomba es esencial para evitar fugas de fluido y proteger los componentes internos de la bomba. Existen dos tipos principales de dispositivos de sellado:

- **Empaquetaduras de Cordón Trenzado:** Aunque son más simples y económicas, permiten una mayor pérdida de fluido a través del eje y requieren un mantenimiento frecuente. Son utilizadas en aplicaciones donde las pérdidas de fluido no son críticas.
- **Sellos Mecánicos:** Ofrecen un sellado más eficiente y seguro, minimizando las fugas. Los sellos mecánicos son más complejos y requieren una instalación precisa, pero son fundamentales en aplicaciones que manejan fluidos peligrosos o costosos.

### 4.2 Tipos de Sellos Mecánicos

Los sellos mecánicos se dividen en varias categorías según su diseño y aplicación:

- **Sellos de una sola cara:** Utilizados en aplicaciones de baja presión, donde las fugas mínimas son aceptables.
- **Sellos de doble cara:** Estos sellos proporcionan un mayor nivel de seguridad y están diseñados para operar en sistemas de alta presión o en aplicaciones donde una fuga mínima es inaceptable.

### 4.3 Materiales de Construcción de los Sellos Mecánicos

Los materiales utilizados para los sellos mecánicos deben seleccionarse según las condiciones del fluido y las exigencias de la aplicación:

- **Carbón y grafito:** Usados en las caras de sellado debido a sus propiedades autolubrificantes.
- **Cerámicas:** Ofrecen resistencia a la corrosión y a la abrasión.

- **Metales:** Como el acero inoxidable, que proporciona resistencia estructural y a la corrosión.
- **Elastómeros:** Materiales flexibles como el caucho fluorado o el EPDM, que aseguran la estanqueidad y la resistencia a productos químicos.

## MÓDULO V: Ingeniería de Sellado y Planes API 682

### 5.1 Tipos de Fluidos

Los fluidos a manejar en una bomba centrífuga pueden variar considerablemente en términos de sus propiedades físicas y químicas. Estas propiedades impactan directamente la selección del tipo de sello mecánico y el diseño del sistema de sellado:

- **Fluidos corrosivos:** Requieren materiales especiales resistentes a la corrosión, como aleaciones de níquel o cerámicas.
- **Fluidos abrasivos:** Exigen materiales resistentes al desgaste y configuraciones especiales para minimizar la abrasión en las caras de sellado.
- **Fluidos peligrosos:** Como productos químicos volátiles o tóxicos, requieren sellos de doble cara o sistemas de sellado presurizados para evitar fugas.

### 5.2 Consideraciones Teóricas

El diseño de los sellos mecánicos requiere un análisis exhaustivo de varios factores, como la presión diferencial, la velocidad periférica del impulsor y el P.V. (producto de presión y velocidad). El cálculo de la **presión de caja** es esencial para seleccionar un sello que funcione de manera eficiente bajo las condiciones de operación esperadas.

### 5.3 Planes de Sellado API 682

El estándar **API 682** define una serie de planes de sellado para aplicaciones en la industria de hidrocarburos. Estos planes incluyen recomendaciones para la configuración de sellos mecánicos en bombas que manejan productos peligrosos o de alta presión.

- **Plan 52:** Utiliza un sistema de barrera sin presurización que aísla el sello primario de la atmósfera mediante un fluido barrera.
- **Plan 53:** Emplea un sistema presurizado para sellos de doble cara, garantizando que el fluido barrera siempre esté a una presión superior a la del fluido de proceso.

Estos planes están diseñados para maximizar la vida útil de los sellos mecánicos y reducir el riesgo de fugas en condiciones exigentes.

## MÓDULO VI: Instalación y Mantenimiento de Sellos Mecánicos

### 6.1 Instalación de Sellos Mecánicos

La instalación adecuada de los sellos mecánicos es fundamental para garantizar su funcionamiento correcto. Los procedimientos de instalación varían según el tipo de sello (cartucho o de componentes) y el sistema de bombeo. Los pasos típicos incluyen:

- **Revisión del equipo antes de la instalación:** Verificar que el eje esté alineado correctamente y que las superficies de sellado estén limpias y libres de daños.
- **Montaje de sellos de componentes:** Implica la instalación de cada parte del sello mecánico individualmente, lo que requiere un mayor cuidado y precisión.
- **Montaje de sellos tipo cartucho:** Estos sellos vienen preensamblados y son más fáciles de instalar, lo que reduce el riesgo de errores de montaje.

## 6.2 Mantenimiento de Sellos Mecánicos

El mantenimiento de los sellos mecánicos incluye la inspección regular de las fugas, la verificación del desgaste de las caras de sellado y el control de las condiciones operativas. Algunas de las principales causas de falla en los sellos incluyen:

- **Desgaste excesivo:** Debido al mal alineamiento o a condiciones de operación extremas.
- **Sobrecalentamiento:** Que puede dañar los elastómeros y reducir la vida útil del sello.
- **Cavitación o vibraciones:** Que provocan un deterioro acelerado de las caras de sellado.

El análisis de fallas en los sellos mecánicos ayuda a identificar problemas recurrentes y a implementar soluciones preventivas.

## Conclusión

Este estudio extensivo ha abordado los aspectos clave de las bombas centrífugas y los sellos mecánicos, desde su teoría de funcionamiento hasta su mantenimiento y las normas aplicables, como el estándar API 682. La selección, operación y mantenimiento correctos de estos equipos son fundamentales para garantizar la eficiencia operativa y la seguridad en las industrias que dependen de ellos. Mediante la aplicación de técnicas avanzadas de mantenimiento predictivo, la implementación de diseños adecuados y el uso de materiales resistentes, es posible prolongar la vida útil de los equipos, reducir tiempos de inactividad y minimizar costos operativos.

## MÓDULO VII: Tipos de Daños más Comunes en Bombas Centrífugas

Las bombas centrífugas son equipos esenciales en numerosas aplicaciones industriales, ya que permiten el transporte de líquidos de manera eficiente y continua. Sin embargo, debido a su uso intensivo y las variadas condiciones de operación, las bombas centrífugas están sujetas a una serie de daños que pueden afectar su rendimiento, seguridad y vida útil. Conocer los tipos de daños más comunes, las causas subyacentes y cómo prevenirlos es fundamental para garantizar una operación fiable y reducir el tiempo de inactividad.

Este informe aborda los tipos de daños más comunes en bombas centrífugas, ofreciendo una descripción detallada de cada uno y proporcionando ejemplos prácticos de la industria para ilustrar las condiciones que pueden llevar a estos problemas.

## 7.1. Cavitación

**Descripción del Daño:** La cavitación es uno de los problemas más frecuentes y destructivos en bombas centrífugas. Ocurre cuando la presión del líquido en el lado de succión de la bomba cae por debajo de su presión de vapor, lo que provoca la formación de burbujas de vapor en el líquido. Estas burbujas colapsan rápidamente cuando entran en zonas de mayor presión, generando ondas de choque que pueden causar daños severos a los componentes de la bomba, en particular al impulsor.

### Causas de la Cavitación

- **Baja presión de succión:** La presión en la línea de succión puede no ser suficiente para mantener el líquido en estado líquido, lo que desencadena la cavitación.
- **Altas temperaturas del fluido:** A temperaturas elevadas, la presión de vapor del líquido aumenta, lo que favorece la formación de burbujas de vapor.
- **Diseño inadecuado de la tubería de succión:** Una tubería de succión demasiado larga o mal diseñada puede aumentar las pérdidas por fricción y reducir la presión en la entrada de la bomba.
- **Velocidades excesivas en el impulsor:** La operación de la bomba a velocidades superiores a las recomendadas puede generar un exceso de presión negativa en la succión.

### Daños Asociados

- **Desgaste y erosión del impulsor:** Las burbujas colapsan en las superficies metálicas del impulsor, causando erosión y picaduras.
- **Vibraciones excesivas:** La cavitación puede generar vibraciones que afecten la estabilidad de la bomba, reduciendo la vida útil de otros componentes como los cojinetes.
- **Reducción de la eficiencia:** La cavitación disminuye la capacidad de la bomba para mover el líquido de manera eficiente.

### Ejemplo Práctico

En la industria de tratamiento de agua, las bombas centrífugas utilizadas en el transporte de agua a alta temperatura (cerca de su punto de ebullición) son propensas a sufrir cavitación si no se mantienen condiciones adecuadas de presión en la succión. En una planta de tratamiento de agua, la cavitación fue identificada como la causa principal del desgaste prematuro de los impulsores de las bombas, lo que resultó en un aumento de los costos de mantenimiento y reemplazo de equipos.



## 7.2. Desgaste Abrasivo

### Descripción del Daño

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas sólidas suspendidas en el líquido bombeado erosionan las superficies internas de la bomba, particularmente el impulsor, la voluta y los sellos mecánicos. Este tipo de desgaste es común en aplicaciones donde el fluido contiene sólidos en suspensión, como en la minería, la industria papelera o el tratamiento de aguas residuales.

### Causas del Desgaste Abrasivo

- Presencia de partículas sólidas: Líquidos que contienen arena, lodo, o partículas metálicas pueden desgastar las superficies internas de la bomba.
- Materiales de construcción inadecuados: Si el impulsor o la voluta están hechos de materiales que no son resistentes a la abrasión, como ciertos aceros de baja calidad, se desgastarán rápidamente.
- Velocidad excesiva del fluido: Un caudal excesivamente alto puede acelerar el impacto de las partículas sólidas contra las superficies metálicas.

### Daños Asociados

- Erosión del impulsor: Las partículas sólidas pueden desgastar las superficies del impulsor, reduciendo su eficiencia y provocando daños estructurales.
- Desgaste de la voluta: La carcasa o voluta de la bomba también puede verse afectada por la abrasión, especialmente en los puntos donde el fluido cambia de dirección.
- Deterioro de los sellos mecánicos: Los sólidos en el fluido pueden dañar los sellos, causando fugas y fallos en los sellos mecánicos.

### Ejemplo Práctico

En una mina de cobre, las bombas centrífugas utilizadas para transportar lodo cargado de partículas de mineral comenzaron a mostrar signos de desgaste en menos de seis meses. El análisis de fallos reveló que el desgaste abrasivo era el culpable, ya que las partículas sólidas en el lodo impactaban directamente contra el impulsor de acero al carbono. La solución fue instalar impulsores fabricados con materiales más resistentes al desgaste, como aleaciones de cromo.



### 7.3. Desgaste Corrosivo

#### Descripción del Daño

El desgaste corrosivo ocurre cuando los componentes de la bomba entran en contacto con líquidos corrosivos, como ácidos, bases o soluciones químicamente agresivas. Con el tiempo, la corrosión debilita los materiales de construcción de la bomba, especialmente los componentes metálicos, lo que puede llevar a perforaciones y fallos catastróficos.

#### Causas del Desgaste Corrosivo

- Líquidos corrosivos: Los fluidos altamente ácidos o alcalinos pueden atacar las superficies metálicas de la bomba.
- Materiales inadecuados: Si la bomba no está hecha de materiales resistentes a la corrosión (como acero inoxidable o aleaciones especiales), se desgastará rápidamente.
- Temperaturas elevadas: Las altas temperaturas pueden acelerar las reacciones corrosivas, especialmente cuando se bombea agua salina o soluciones químicas concentradas.

#### Daños Asociados

- Perforación del impulsor: La corrosión puede causar pequeñas perforaciones o áreas delgadas en el impulsor, lo que eventualmente lleva a fallos estructurales.
- Daño en la voluta: Las carcasas de las bombas, si no están adecuadamente protegidas, pueden corroerse, lo que compromete la eficiencia del equipo.
- Fallas en los sellos: Los sellos mecánicos también pueden verse afectados por la corrosión, lo que genera fugas y fallos prematuros.

#### Ejemplo Práctico

En una planta química que utiliza bombas centrífugas para transportar ácido sulfúrico, los impulsores de acero al carbono mostraron un desgaste significativo en menos de un año debido a la naturaleza corrosiva del fluido. La solución fue reemplazar los componentes clave por materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable 316 y Hastelloy, lo que aumentó considerablemente la vida útil de las bombas.



### 7.4. Falla de Cojinetes

#### Descripción del Daño

Los cojinetes son componentes críticos que soportan el eje de la bomba y permiten su rotación suave. Cuando los cojinetes fallan, el eje puede desalinearse o moverse de manera inestable, lo que provoca vibraciones excesivas, desgaste del impulsor y, eventualmente, fallos catastróficos de la bomba.

#### Causas de la Falla de Cojinetes

- **Lubricación inadecuada:** La falta de lubricación adecuada puede aumentar la fricción, lo que provoca un sobrecalentamiento y el desgaste de los cojinetes.
- **Cargas excesivas:** Si la bomba está operando fuera de su punto de eficiencia máxima, los cojinetes pueden estar sometidos a cargas excesivas, lo que acelera su desgaste.
- **Contaminación del lubricante:** El ingreso de agua, polvo o partículas metálicas en el lubricante puede causar un rápido deterioro de los cojinetes.

#### Daños Asociados

- **Desgaste del cojinete:** Los cojinetes desgastados pueden causar vibraciones y ruidos anormales, lo que compromete la estabilidad de la bomba.
- **Desalineación del eje:** La falla de los cojinetes puede hacer que el eje se desplace, lo que provoca una fricción excesiva entre el impulsor y la voluta.
- **Daño en el impulsor y el sello:** La desalineación del eje debido a la falla del cojinete puede dañar el impulsor y los sellos mecánicos, causando fugas y fallos en la bomba.

#### Ejemplo Práctico

En una planta de procesamiento de alimentos, las bombas centrífugas comenzaron a generar ruidos inusuales y vibraciones excesivas. Al inspeccionarlas, se encontró que los cojinetes estaban desgastados debido a la falta de lubricación adecuada y a la contaminación del lubricante con partículas de alimentos. Los cojinetes fueron reemplazados, y se implementó un programa de mantenimiento preventivo para asegurar una lubricación adecuada y evitar futuras fallas.



## 7.5 Falla de Sellos Mecánicos

### Descripción del Daño

Los sellos mecánicos son esenciales para prevenir fugas en el eje de la bomba. Las fallas en los sellos mecánicos pueden provocar fugas de fluido, lo que compromete la seguridad de la operación y puede causar daños adicionales a otros componentes de la bomba.

### Causas de la Falla de Sellos Mecánicos

- **Desalineación del eje:** Si el eje de la bomba no está alineado correctamente, los sellos mecánicos pueden experimentar desgaste desigual y fallar prematuramente.
- **Temperatura excesiva:** El sobrecalentamiento puede degradar los materiales de los sellos, como los elastómeros, causando fugas.
- **Fallas en la lubricación:** Los sellos mecánicos necesitan lubricación adecuada entre las caras de sellado para funcionar correctamente. La falta de lubricación puede aumentar la fricción y causar el desgaste prematuro de las caras del sello.
- **Contaminación:** La entrada de partículas sólidas o productos químicos corrosivos en las caras de sellado puede dañar el sello y reducir su vida útil.

### Daños Asociados

- **Fugas de fluido:** La falla de los sellos mecánicos generalmente resulta en fugas, lo que puede causar un deterioro rápido de otros componentes de la bomba y posibles riesgos ambientales o de seguridad.
- **Aumento de la fricción:** La falla del sello puede causar un aumento en la fricción entre las caras de sellado, lo que genera calor y desgasta el sello más rápidamente.
- **Daños en el impulsor y el eje:** Si el sello mecánico falla, puede causar una desalineación o un sobrecalentamiento que dañe otros componentes clave de la bomba.

### Ejemplo Práctico

En una refinería de petróleo, se observó que una bomba centrífuga que manejaba hidrocarburos presentaba fugas frecuentes. Al analizar los sellos mecánicos, se descubrió que el fluido estaba contaminado con partículas abrasivas, lo que causaba un desgaste rápido de las caras de sellado. Se implementó un plan de mantenimiento preventivo para controlar la calidad del fluido y se instalaron sellos mecánicos de mayor resistencia a la abrasión.



## 7.6. Desgaste por Fatiga

### Descripción del Daño

El desgaste por fatiga ocurre cuando los componentes de la bomba, particularmente el impulsor y el eje, están sujetos a cargas cíclicas repetitivas que eventualmente provocan grietas o fracturas en los materiales. Este tipo de daño es común en bombas que operan en condiciones variables o que experimentan cambios frecuentes en el caudal y la presión.

### Causas del Desgaste por Fatiga

- Operación cíclica: Bombas que arrancan y paran frecuentemente o que operan en condiciones de presión fluctuante son más propensas a sufrir desgaste por fatiga.
- Cargas inadecuadas: Operar la bomba fuera de su rango óptimo de diseño puede generar tensiones cíclicas que afecten la integridad del material.
- Vibraciones excesivas: Las vibraciones repetitivas, causadas por desalineación o problemas de cavitación, pueden acelerar el proceso de fatiga.

### Daños Asociados

- Grietas en el impulsor: El desgaste por fatiga puede generar microgrietas en el impulsor, lo que eventualmente puede llevar a la fractura del componente.
- Fallas en el eje: El eje puede desarrollar fisuras que lo debilitan, lo que podría llevar a una falla catastrófica.
- Pérdida de eficiencia: A medida que el impulsor o el eje se deterioran, la eficiencia de la bomba disminuye, lo que reduce su capacidad para transportar líquidos de manera efectiva.

### Ejemplo Práctico

En una planta de energía, una bomba centrífuga que operaba en condiciones de arranque y parada frecuentes comenzó a mostrar signos de vibraciones excesivas y disminución del rendimiento. Después de una inspección detallada, se descubrió que el impulsor tenía varias grietas pequeñas, lo que indicaba desgaste por fatiga. La bomba fue reemplazada por un modelo diseñado para soportar condiciones de operación cíclica, lo que mejoró su fiabilidad y redujo las fallas.



## Conclusión

Los daños en bombas centrífugas pueden ser el resultado de una variedad de factores operacionales y de mantenimiento. La cavitación, el desgaste abrasivo, la corrosión, la falla de los cojinetes, la falla de los sellos mecánicos y el desgaste por fatiga son algunos de los problemas más comunes que enfrentan estos equipos críticos en la industria. Cada tipo de daño tiene sus causas específicas y requiere un enfoque particular para su prevención y solución.

Para mitigar estos daños, es esencial implementar prácticas de mantenimiento preventivo, monitoreo continuo de las condiciones operacionales y una correcta selección de materiales para los componentes clave de la bomba. Además, el diseño adecuado del sistema de bombeo y el control de los parámetros de operación son fundamentales para prolongar la vida útil de las bombas centrífugas y garantizar un rendimiento óptimo en condiciones exigentes.

## MÓDULO VIII Norma API 682 para la Selección, Operación y Mantenimiento de Bombas Centrífugas

### 8.1 Introducción a la Norma API 682

La norma API 682, publicada por el **American Petroleum Institute (API)**, establece los requisitos de diseño, selección, operación y mantenimiento de los **sellos mecánicos** para bombas centrífugas utilizadas en las industrias de hidrocarburos, refinerías y petroquímica. Su objetivo principal es mejorar la confiabilidad y la seguridad en el sellado de bombas centrífugas que operan en condiciones críticas, asegurando la correcta contención de fluidos peligrosos o valiosos.

La API 682 es ampliamente reconocida a nivel mundial y se considera el estándar de referencia para los sistemas de sellado mecánico en bombas. Esta norma especifica no solo las características técnicas de los sellos mecánicos, sino también los **planes de sellado** que deben utilizarse para garantizar la integridad operativa bajo diversas condiciones. Además, proporciona lineamientos para la instalación, operación y mantenimiento de estos sistemas, reduciendo el riesgo de fallas prematuras y fugas que puedan comprometer la seguridad o la eficiencia del proceso.

### 8.2 Selección de Bombas Centrífugas y Sellos Mecánicos según la Norma API 682

#### 8.2.1 Tipos de Sellos Mecánicos

La norma API 682 establece varios tipos de sellos mecánicos, cada uno adecuado para diferentes aplicaciones en función de las condiciones operativas (como presión, temperatura, tipo de fluido) y el tipo de bomba centrífuga:

- **Sellos Mecánicos de Cartucho:** Son sellos prefabricados que se instalan como un solo conjunto. Son altamente recomendados por la API 682 debido a su facilidad de instalación y menor riesgo

de errores de montaje. Además, estos sellos permiten una alineación más precisa de las caras de sellado, lo que mejora su vida útil y rendimiento.

- **Sellos de Simple Cara y Doble Cara:** Los sellos de simple cara son utilizados en aplicaciones menos exigentes donde las fugas pequeñas pueden ser toleradas. En cambio, los sellos de doble cara se utilizan en aplicaciones más críticas, donde la fuga de fluidos es inaceptable, como en el manejo de líquidos peligrosos o tóxicos.
- **Sellos Balanceados y No Balanceados:** Los sellos balanceados están diseñados para manejar presiones más altas, mientras que los no balanceados son adecuados para aplicaciones de baja presión. La selección entre ambos depende de la presión de operación en la cámara de sellado.

### 8.2.2 Planes de Sellado según API 682

Los **planes de sellado** especificados por API 682 son sistemas auxiliares que se utilizan para mejorar el rendimiento y la confiabilidad de los sellos mecánicos en bombas centrífugas. Estos planes controlan la temperatura, la presión y la lubricación del sello, lo que minimiza el desgaste y las fugas. Algunos de los planes de sellado más importantes incluyen:

- **Plan 52:** Es un sistema de sellado de barrera sin presurización, que utiliza un fluido barrera en un depósito separado para evitar que el fluido del proceso llegue a las caras de sellado. Es utilizado principalmente en aplicaciones donde el fluido del proceso no es peligroso, pero se desea proteger el sello del contacto directo con el fluido.
- **Plan 53:** Este plan utiliza un sistema presurizado de barrera que mantiene una presión mayor en el fluido barrera en comparación con la del fluido de proceso. Es ideal para sellos de doble cara y aplicaciones donde la fuga del fluido de proceso es inaceptable.
- **Plan 23:** Consiste en la recirculación interna del fluido de proceso para enfriar el área del sello mecánico, manteniendo la temperatura operativa bajo control. Es utilizado principalmente en bombas que manejan fluidos calientes.

### 8.2.3 Selección de Materiales según API 682

La selección de los **materiales de construcción** para los sellos mecánicos es un aspecto crítico. API 682 proporciona especificaciones para los materiales más adecuados según el tipo de fluido a bombear y las condiciones operativas de la bomba centrífuga:

- **Caras de Sellado:** Las caras están típicamente hechas de carburo de silicio, grafito o carburo de tungsteno, materiales que ofrecen alta resistencia al desgaste y a la corrosión. La elección del material depende de las características del fluido (corrosivo, abrasivo, etc.).
- **Elastómeros:** Los sellos mecánicos incluyen elastómeros que permiten un sellado flexible y confiable. API 682 recomienda materiales como el Vitón, EPDM, NBR y caucho fluorado, que son altamente resistentes a productos químicos y temperaturas extremas.
- **Metales:** El acero inoxidable es el material estándar para las partes metálicas del sello, pero en aplicaciones extremas, pueden usarse aleaciones resistentes a la corrosión como Hastelloy o Monel.

## 8.3 Operación y Mantenimiento Correcto según API 682

### 8.3.1 Instalación de Sellos Mecánicos

La instalación precisa de los sellos mecánicos es crucial para garantizar su operación eficiente. La API 682 enfatiza la importancia de una alineación exacta entre el eje y el sello, ya que cualquier desalineación puede causar un desgaste prematuro de las caras de sellado y aumentar el riesgo de fugas.

- **Montaje de Sellos Tipo Cartucho:** Debido a su diseño modular, los sellos tipo cartucho permiten una instalación rápida y precisa, reduciendo las posibilidades de error humano. API 682 recomienda su uso en aplicaciones críticas donde las tolerancias estrictas son esenciales.
- **Revisión Previa a la Instalación:** Se debe realizar una inspección visual del equipo para asegurarse de que no haya daños en las superficies de sellado y que las tolerancias dimensionales sean las correctas.

### 8.3.2 Mantenimiento Preventivo y Predictivo

Para maximizar la vida útil de los sellos mecánicos y evitar fallas catastróficas, API 682 promueve estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo basadas en el monitoreo continuo de las condiciones operativas. Esto incluye la supervisión de parámetros como vibración, temperatura y presión del fluido de barrera o de proceso.

- **Monitoreo de Condiciones:** El análisis de vibraciones y la medición de fugas son esenciales para identificar signos tempranos de fallo en el sello. API 682 recomienda implementar sensores y sistemas de monitoreo continuo para alertar al personal de mantenimiento en caso de anomalías.
- **Inspección de Sellos:** La inspección regular de los sellos mecánicos debe incluir la verificación del desgaste de las caras de sellado, la revisión de la lubricación y el análisis de cualquier fuga que pueda comprometer la eficiencia del sistema.

### 8.3.3 Reparación y Reemplazo de Sellos Mecánicos

API 682 recomienda procedimientos detallados para la reparación y reemplazo de los sellos mecánicos. Estos procedimientos deben seguirse rigurosamente para evitar problemas durante la re-instalación, tales como desalineaciones, fugas o fallas prematuras.

- **Análisis de Fallas:** Si se produce una falla, API 682 sugiere realizar un análisis de causa raíz para determinar si el fallo fue causado por desgaste natural, desalineación, mala selección de materiales o condiciones operativas no controladas. Este análisis es fundamental para evitar recurrencias en el futuro.

## Conclusión

La **norma API 682** ofrece una guía integral para la selección, operación y mantenimiento de **sellos mecánicos** en bombas centrífugas, enfocada en aumentar la confiabilidad y seguridad en la contención

de fluidos críticos. La correcta implementación de sus lineamientos puede extender la vida útil de los sellos, minimizar los tiempos de inactividad y evitar fugas peligrosas o costosas. Su adopción por parte de las industrias, especialmente en los sectores de hidrocarburos y petroquímica, es esencial para mantener la integridad operativa y cumplir con los más altos estándares de eficiencia y seguridad.

## **MÓDULO IX Normas NFPA para la Instalación, Mantenimiento y Operación de Bombas Centrífugas**

### **9.1 Introducción a las Normas NFPA**

La **NFPA (National Fire Protection Association)** es una organización internacional que establece normas y códigos para la prevención y protección contra incendios. Entre sus normas más relevantes, la **NFPA 20** se enfoca específicamente en los **requisitos para la instalación, operación y mantenimiento de bombas contra incendios centrífugas**. Esta norma proporciona directrices detalladas sobre cómo deben seleccionarse, instalarse y mantenerse las bombas centrífugas que se usan en sistemas de protección contra incendios. El objetivo de estas normativas es garantizar que las bombas funcionen de manera eficiente y segura durante emergencias, minimizando riesgos tanto para el personal como para la propiedad.

La **NFPA 20** es reconocida internacionalmente como el estándar más confiable para garantizar la seguridad y el rendimiento de los sistemas de bombeo utilizados en la lucha contra incendios, y está diseñada para aplicarse a una amplia gama de instalaciones, desde edificios comerciales y residenciales hasta instalaciones industriales y complejos más grandes.

### **9.2 Selección e Instalación de Bombas Centrífugas según NFPA 20**

#### **9.2.1 Requisitos Generales de Selección**

La selección adecuada de una bomba centrífuga para sistemas de protección contra incendios es fundamental para asegurar que el equipo sea capaz de proporcionar la presión y el caudal necesarios en situaciones de emergencia. Según la **NFPA 20**, las bombas deben cumplir con los siguientes criterios:

- **Tipo de Bomba:** Solo se permiten bombas centrífugas para sistemas de protección contra incendios. Las bombas de tipo positivo, aunque eficaces en otras aplicaciones, no son adecuadas para estos sistemas debido a su capacidad limitada para manejar grandes volúmenes de agua en poco tiempo.
- **Capacidad y Caudal:** La bomba debe ser capaz de proporcionar el caudal de agua requerido por el sistema de rociadores, hidrantes o cualquier otro sistema de extinción de incendios. La **NFPA 20** especifica que la bomba debe tener la capacidad de proporcionar, al menos, el caudal mínimo de diseño para el sistema de incendios en el que esté instalada.
- **Presión de Operación:** La bomba debe poder generar suficiente presión para superar las pérdidas por fricción en las tuberías y asegurar que el agua llegue con la presión adecuada a todos

los puntos del sistema. La NFPA exige que las bombas centrífugas puedan suministrar al menos el 65% de su presión nominal en cualquier condición de operación.

- **Tipo de Impulsor:** Los impulsores deben ser del tipo cerrado, ya que son más eficientes y proporcionan un mayor rendimiento en términos de presión y caudal.

### 9.2.2 Tipos de Bombas Cubiertas por la NFPA 20

La NFPA 20 cubre una variedad de configuraciones de bombas centrífugas, incluyendo:

- **Bombas Centrífugas Horizontales de Succión Final:** Estas son las más comunes en los sistemas de protección contra incendios debido a su simplicidad y facilidad de mantenimiento. El fluido entra por el centro del impulsor y es expulsado de manera radial.
- **Bombas Centrífugas de División Horizontal:** Estas bombas son adecuadas para instalaciones de alta capacidad. Tienen la ventaja de permitir un acceso más fácil al impulsor para el mantenimiento, lo que las convierte en una opción popular en grandes instalaciones industriales.
- **Bombas Verticales en Línea:** Son ideales para instalaciones donde el espacio es limitado, ya que requieren menos área de instalación.
- **Bombas Verticales de Turbina:** Estas bombas se utilizan principalmente en aplicaciones donde el suministro de agua proviene de fuentes subterráneas, como pozos profundos.

### 9.2.3 Requisitos de Instalación

La NFPA 20 establece directrices específicas para la instalación de bombas centrífugas con el fin de asegurar su correcto funcionamiento:

- **Ubicación de la Bomba:** La bomba debe instalarse en una ubicación accesible y protegida del clima, preferiblemente en una sala dedicada a equipos contra incendios. La sala debe ser a prueba de inundaciones y debe tener un acceso adecuado para el personal de mantenimiento.
- **Alineación y Anclaje:** La bomba debe estar correctamente alineada con el motor o el motor diésel que la impulsa, para evitar vibraciones excesivas que puedan dañar el equipo. Además, el conjunto de bomba y motor debe estar adecuadamente anclado al suelo para minimizar el movimiento durante el arranque y la operación.
- **Conexión de Tuberías:** Las tuberías de succión y descarga deben estar correctamente dimensionadas para evitar cavitación y otras pérdidas por fricción que puedan reducir el rendimiento de la bomba. La NFPA 20 establece que la longitud de la línea de succión debe ser lo más corta posible, y que las válvulas de retención deben instalarse en la línea de descarga para evitar el retorno de flujo.
- **Fuente de Energía:** La NFPA 20 permite que las bombas sean accionadas por motores eléctricos o motores diésel. En ambos casos, la fuente de energía debe estar dimensionada para proporcionar suficiente potencia para el arranque y la operación continua bajo las condiciones de emergencia.

## 9.3 Operación de Bombas Centrífugas según NFPA 20

### 9.3.1. Requisitos de Funcionamiento

La **NFPA 20** establece que las bombas centrífugas contra incendios deben estar listas para operar en cualquier momento, ya que no se puede prever cuándo ocurrirá una emergencia. La bomba debe estar configurada para arrancar automáticamente cuando la presión en el sistema de tuberías caiga por debajo de un nivel predeterminado.

- **Arranque Automático:** Las bombas contra incendios deben arrancar automáticamente cuando la presión en el sistema cae, lo que generalmente ocurre al activarse un rociador o al abrirse una válvula de hidrante. El sistema de control debe asegurarse de que la bomba arranque de manera rápida y eficiente, sin requerir intervención manual.
- **Funcionamiento Continuo:** La bomba debe ser capaz de funcionar de manera continua durante una emergencia, sin apagarse por sobrecalentamiento o fallas mecánicas. La **NFPA 20** establece que las bombas deben estar diseñadas para operar por lo menos durante 8 horas sin interrupciones en situaciones de emergencia.
- **Control de Presión:** La bomba debe mantener una presión de operación constante para asegurar un suministro continuo de agua a todas las partes del sistema de protección contra incendios. Esto implica el uso de un sistema de control de presión que permita ajustar la operación de la bomba según las necesidades del sistema.

### 9.3.2 Sistemas de Monitoreo

La norma **NFPA 20** exige que las bombas centrífugas contra incendios cuenten con sistemas de monitoreo que permitan verificar su funcionamiento y alertar al personal sobre posibles fallas. Estos sistemas deben incluir:

- **Supervisión del Estado de la Bomba:** El estado de la bomba debe ser monitoreado de manera continua para asegurar que esté en condiciones de operar cuando sea necesario. Esto incluye la supervisión de parámetros como la presión de succión, la temperatura del motor y las vibraciones.
- **Alarmas y Señales:** El sistema de control debe estar conectado a una central de alarmas que notifique cualquier falla en la bomba, como la pérdida de energía, fallos en el arranque o presión de descarga inadecuada.

## 9.4 Mantenimiento de Bombas Centrífugas según NFPA 20

### 9.4.1 Mantenimiento Preventivo

La **NFPA 20** resalta la importancia del **mantenimiento preventivo** para garantizar que las bombas centrífugas contra incendios estén siempre en óptimas condiciones. El mantenimiento preventivo incluye inspecciones y pruebas regulares para identificar problemas antes de que se conviertan en fallas catastróficas.

- **Pruebas de Aceptación y Pruebas Periódicas:** Al instalar una bomba centrífuga contra incendios, es obligatorio realizar una **prueba de aceptación** para verificar que la bomba cumple

con los requisitos de diseño en términos de caudal y presión. Posteriormente, se deben realizar pruebas periódicas (al menos una vez al año) para asegurar que la bomba siga funcionando de manera adecuada. Estas pruebas deben incluir una prueba de flujo para verificar que la bomba pueda suministrar el caudal necesario.

- **Inspecciones Regulares:** Las bombas centrífugas deben ser inspeccionadas regularmente para verificar el estado de los componentes clave, como el impulsor, las juntas, los cojinetes, las válvulas y las tuberías de conexión. Las inspecciones deben asegurarse de que no haya obstrucciones ni desgaste que puedan comprometer el rendimiento del equipo.
- **Lubricación y Mantenimiento del Motor:** Los cojinetes de la bomba deben lubricarse de manera regular para reducir la fricción y prevenir el desgaste. Si la bomba está accionada por un motor diésel, se debe verificar regularmente el nivel de combustible y el estado de las baterías para asegurarse de que el motor esté listo para arrancar en cualquier momento.

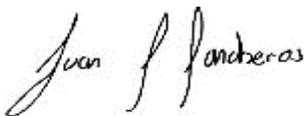
#### 9.4.2 Mantenimiento Correctivo

En caso de fallas o problemas detectados durante las pruebas o inspecciones, la **NFPA 20** establece que debe implementarse un **mantenimiento correctivo** inmediato para evitar la interrupción del sistema de protección contra incendios. Esto puede incluir la reparación o el reemplazo de componentes desgastados o dañados, como los sellos mecánicos, cojinetes o válvulas.

#### Conclusión

La **NFPA 20** proporciona una guía exhaustiva para la **selección, instalación, operación y mantenimiento** de bombas centrífugas contra incendios, asegurando que los sistemas de protección contra incendios funcionen de manera efectiva en situaciones de emergencia. La norma establece requisitos técnicos estrictos para garantizar que las bombas proporcionen el caudal y la presión adecuados bajo diversas condiciones, y sugiere prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo para minimizar las fallas operativas.

El cumplimiento de estas normativas no solo asegura la seguridad de las personas y la propiedad, sino que también maximiza la eficiencia y la vida útil de las bombas centrífugas, lo que reduce los costos de operación y mantenimiento a largo plazo.



**Juan Carlos Lancheros Rueda – CILA, BC’s Mech Eng, BC’s B.A, M.I.A, P.M.S, F.M.S.  
C.E.O.**