

**Universidad Técnica Federico Santa María sede
Concepción**

**Selección Óptima de Bombas Hidráulicas para el
Taller de Turbomáquinas de la Universidad Técnica
Federico Santa María**

Trabajo de título para optar al título de técnico
universitario en mecánica industrial.

Alumnos:

Carlos Arcadio Cifuentes Toloza

Michael Bustos Palma

Profesor guía:

Juan Figueroa.

Resumen

Lo que se lleva a cabo en el presente informe, es una investigación acerca de las bombas hidráulicas las cuales son frecuentemente utilizadas en el área de trabajo de la mecánica e hidráulica, para ello se cuenta con una clasificación de bombas hidráulicas y un sistema hidráulico didáctico para poder seleccionar una bomba adecuada para este o cualquier otro sistema hidráulico, dando así conocimientos previos al lector al momento de seleccionar una bomba, ya que, para cada trabajo habrán distintas problemáticas, por ende no se podrá usar siempre la misma bomba para distintos trabajos.

Tabla de contenido

Índice de figura.....	3
Introducción	5
Objetivos	6
Generales	6
Específicos.....	6
1.0 Capítulo 1: bombas	7
1.1 características de una bomba	7
1.2 Clasificación de bombas	8
1.2.1 Bombas Rotativas.	10
1.2.2 Bombas Recíprocas.....	15
1.2.3 Bombas cinéticas	17
2.0 Capítulo 2: Bomba Centrifuga.	19
2.1 Funcionamiento	19
2.2 Partes de las bombas centrifugas.	20
2.2.1 Impulsor.	20
a) Impulsor abierto.....	21
b) Impulsor Semi abierto.....	22
c) Impulsor cerrado.....	23
2.2.2 Carcasa.	24
2.2.3 Eje.	24
2.2.4 Rodamientos o Cojinetes	25
2.2.4.1 Rodamientos de bola y de rodillo	26
2.2.4.2 Rodamientos radiales y axiales.....	28
a) Rodamientos radiales.....	28
b) Rodamientos axiales	29
2.2.5 Empaquetadura.	31
2.2.6 Prensa estopas.	31
2.2.7 Anillos de desgaste.	32
2.2.8 Sellos mecánicos.....	33
3.0 Capítulo 3: Bombas en serie y en paralelo	35
3.1 Bombas en paralelo: maquinas iguales.	35
3.1.1 Ejemplo demostrativo de bombas en paralelo: Maquinas iguales	36
3.2 Bomba en paralelo: maquinas diferentes	37
3.2.1 Ejemplo demostrativo de bombas en paralelo: Maquinas diferentes.....	39
3.3 Bomba en serie: maquinas iguales.....	43
3.3.1 Ejemplo demostrativo de bombas en serie: maquinas iguales	44
3.4 bombas en serie: maquinas diferentes.....	45
3.4.1Ejemplo demostrativo de bombas en serie: maquinas diferentes.....	46
4.0 Capítulo 4: Selección de la bomba	48
a) Curva Sistema.....	49
b) Seleccionar una bomba para curva del sistema	59
c) NPSH.....	62

c.1) NPSH Requerido	62
c.2) NPSH Disponible.....	63
d) RPM requeridas para un caudal de 10 lt/s	66
Conclusión	67
Bibliografía	68

Índice de figura

<i>Figura 1: Entrada y salida del fluido.</i>	7
<i>Figura 2: Instalación de bombeo en carga y aspiración.</i>	8
<i>Figura 3: Bomba de engranes</i>	10
<i>Figura 4: Bomba de tornillo</i>	11
<i>Figura 5: Bomba de paletas</i>	12
<i>Figura 6: Bomba peristáltica</i>	13
<i>Figura 7: Bomba de lóbulos.</i>	14
<i>Figura 8: Bomba de pistón.</i>	15
<i>Figura 9: Bomba de diafragma.</i>	16
<i>Figura 10: Esquema de funcionamiento bomba centrífuga.</i>	17
<i>Figura 11: Bomba de impulsión.</i>	17
<i>Figura 12: Bomba centrífuga.</i>	19
<i>Figura 13: Impulsor abierto.</i>	21
<i>Figura 14: Impulsor semi abierto.</i>	22
<i>Figura 15: Impulsor cerrado.</i>	23
<i>Figura 16: Carcasa</i>	24
<i>Figura 17: Eje</i>	24
<i>Figura 18: Esquema de funcionamiento rodamiento.</i>	25
<i>Figura 19: Rodamiento de bola.</i>	26
<i>Figura 20: Rodamiento de rodillo.</i>	27
<i>Figura 21: Esquema de carga en rodamientos.</i>	28
<i>Figura 22: Carga en un sentido.</i>	29
<i>Figura 23: Carga combinada</i>	29
<i>Figura 24: Ángulo de contacto en un rodamiento.</i>	30
<i>Figura 25: Empaquetadura.</i>	31
<i>Figura 26: Prensa estopa.</i>	31
<i>Figura 27: Diferentes tipos de anillos de desgaste</i>	32
<i>Figura 28: Anillos de desgaste.</i>	33
<i>Figura 29: Sello mecánico.</i>	34
<i>Figura 30: Gráfico de la bomba en paralelo, máquinas iguales.</i>	37
<i>Figura 31: Gráfico de bombas en paralelo, máquinas diferentes.</i>	42
<i>Figura 32: Gráfico de bombas en serie, máquinas iguales.</i>	45
<i>Figura 33: Gráfico de bombas en serie, máquinas diferentes</i>	47
<i>Figura 34: Gráfico de moody.</i>	56
<i>Figura 35: Curva del sistema hidráulico.</i>	58
<i>Figura 36: Ábacos de bomba centrífuga.</i>	59
<i>Figura 37: Curvas y npsH de la boba según ábaco seleccionado.</i>	60
<i>Figura 38: Datos específicos de las curvas de la bomba según ábaco seleccionado.</i>	61
<i>Figura 39: Punto de operación de la bomba.</i>	62
<i>Figura 40: NPSH de la bomba.</i>	65

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Tabla de rugosidades de materiales.</i>	51
<i>Tabla 2: Tabla de pérdidas de carga.</i>	52
<i>Tabla 3: Tabla de pérdidas de carga del sistema.</i>	53
<i>Tabla 4: Tabla de curva sistema 1.</i>	54
<i>Tabla 5: Tabla de curva sistema 1.2.</i>	55
<i>Tabla 6: Tabla de curva sistema 1.3.</i>	55
<i>Tabla 7: Tabla de curva sistema 1.4.</i>	56
<i>Tabla 8: Tabla de curva sistema final 1.5.</i>	57
<i>Tabla 9: Tabla curva de la bomba.</i>	61
<i>Tabla 10: Tabla de curva sistema para gráfico.</i>	61

Introducción

La mayoría de los procesos en las industrias, incluyen la conducción de líquidos o transferencias de un valor de presión o de energía estática a otro.

La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por eso es parte esencial de los procesos. A su vez, el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos están ligados con la mejora en los equipos de bombeo y con un mejor conocimiento de cómo funcionan las bombas y como se deben aplicar.

Cuando llega el momento de adquirir una bomba es necesario hacer una selección adecuada entre la cantidad de aplicaciones, tipos y tamaños; y aunque las bombas ya están diseñadas atendiendo normas internacionales, tenemos libertad para especificar y construir cada bomba para un requisito independiente, considerando los criterios básicos de selección como lo son: la carga, gasto, NPSH, etc.

Este trabajo se enfoca en describir a grandes rasgos las características de los diferentes tipos de bombas, y así poder seleccionar una bomba para un sistema hidráulico del taller de turbomáquinas de la Universidad Santa maría.

Objetivos

Generales

El presente trabajo de título tiene por objetivo seleccionar una bomba hidráulica para ser utilizada en el taller de turbo máquina de la Universidad Santa María.

Específicos

- Realizar un estudio de las distintas bombas hidráulicas.
- Ejemplos de bombas en serie y paralelo, con máquinas iguales y diferentes.
- Realizar obtención de pérdida de cargas de un sistema definido.
- Obtención de la curva del sistema para sistema hidráulico.
- Demostrar la eficacia de la bomba en el sistema propuesto.

1.0 Capítulo 1: bombas

Una Bomba hidráulica, es un instrumento capaz de rediseñar la energía mecánica o eléctrica en la energía del fluido que se intenta mover. Dicho de otra manera, una bomba hidráulica, brinda al fluido el caudal y la presión que necesita para cumplir con una función en específico.

Las bombas hidráulicas, desde la transformación de energía mecánica a energía hidráulica, cumplen dos funciones en su operación: primero, su ejercicio mecánico genera un vacío en la succión, lo que permite que la presión atmosférica ejerza presión sobre el líquido del tanque hacia la entrada de esta, y segundo, con esta misma acción de succión y presión atmosférica lleva el líquido hacia la salida de la bomba empujando hacia el circuito hidráulico.

1.1 características de una bomba

Las características generales de las bombas hidráulicas son:

- Valor nominal de la presión: presión de trabajo para la cual se creó la b
- Caudal: Cantidad volumétrica del fluido y se suele expresar en l/min.
- Desplazamiento: Volumen de líquido bombeado en una vuelta completa.
- Rendimiento volumétrico: El cociente entre el caudal real y el teórico.
- Rendimiento total: El cociente entre la potencia hidráulica que se obtiene y la potencia mecánica que consume.

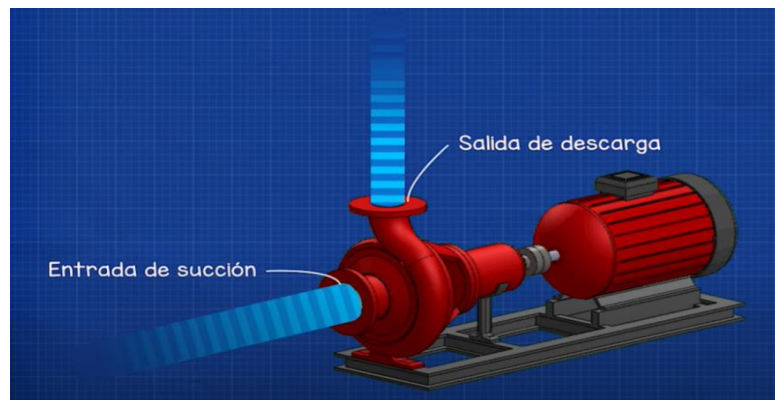


Figura 1: Entrada y salida del fluido.

Una instalación de bombeo puede serlo en aspiración o bien en carga, dependiendo de si el nivel de líquido a bombear se sitúa por debajo o por encima del eje de la bomba. La siguiente figura ayudará a aclararlo.

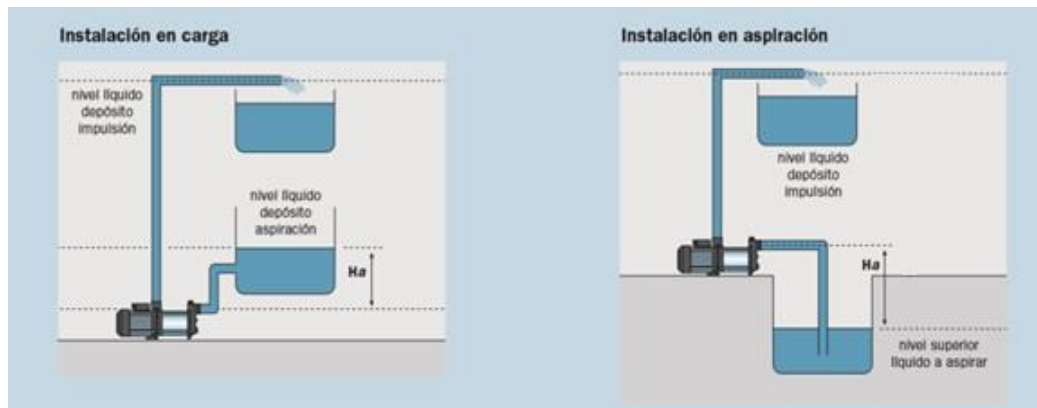
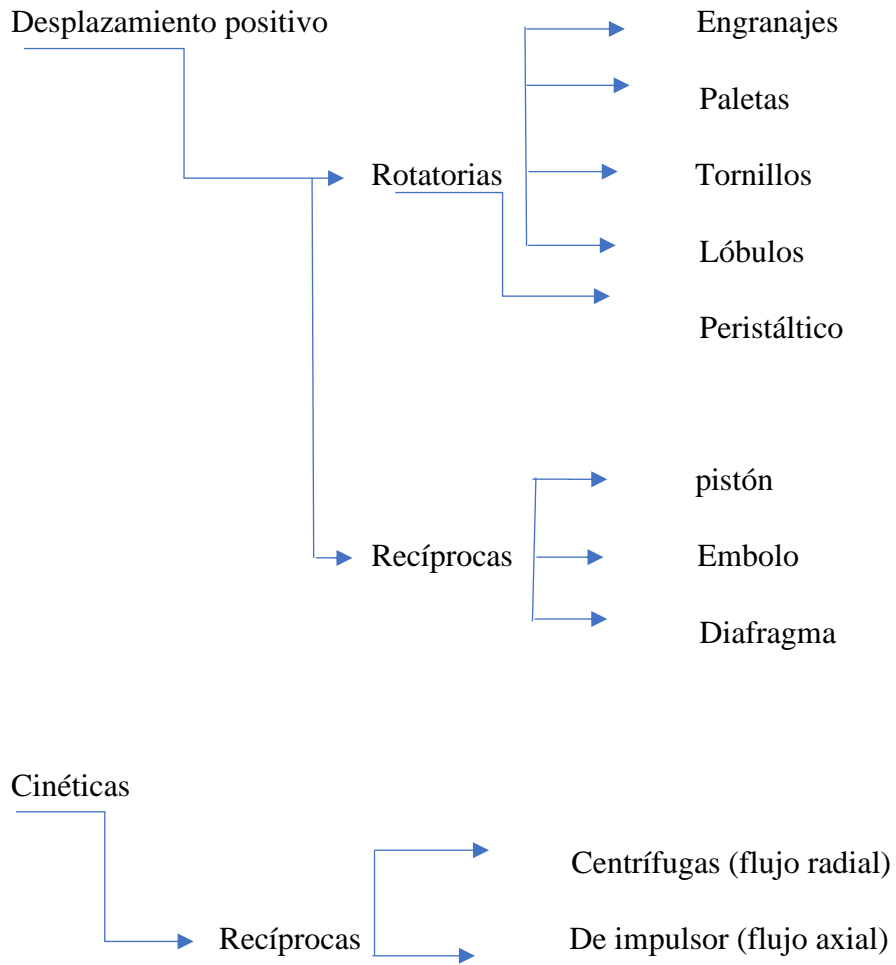


Figura 2: Instalación de bombeo en carga y aspiración.

1.2 Clasificación de bombas

Las bombas hidráulicas pueden ser de varios tipos en función de las más variadas condiciones de uso, para ello se clasifican según su principio de funcionamiento y sus características de construcción, dependiendo del tipo de fluido a utilizar, presiones de funcionamiento, temperaturas y características del sistema.

Para ello se presentan las siguientes:



1.2.1 Bombas Rotativas.

Una bomba rotativa consiste en una cámara que contiene engranajes, husillos, paletas, lóbulos o elementos de bombeo similares. Estos elementos son movidos por un eje rotativo. No hay válvulas de entrada y salida separadas.

1. Bomba de Engranés.

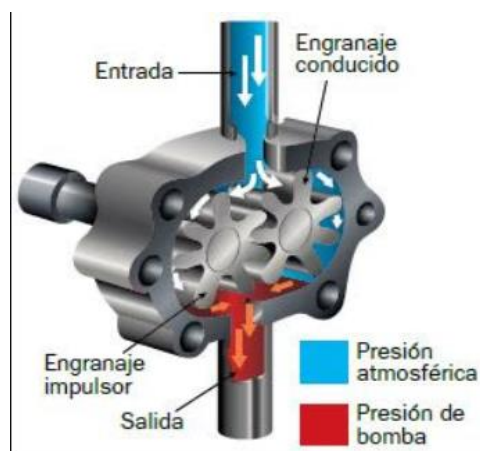


Figura 3: Bomba de engranes

- **Partes Principales**
- **Engranajes:** Dos engranajes que giran en sentido opuesto, generando el movimiento del fluido.
- **Carcasa:** Envuelve los engranajes y ayuda a mantener el sellado.
- **Usos:** Ampliamente utilizado para transferir líquidos viscosos, como aceites y lubricantes en sistemas hidráulicos y en la industria automotriz.

2. Bomba de Tornillo.

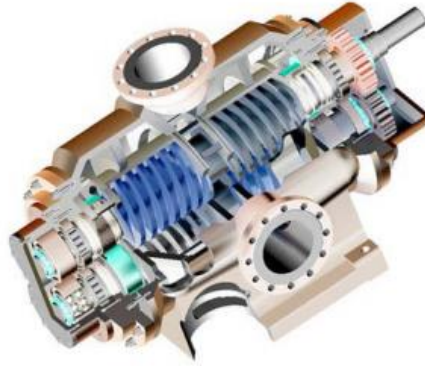


Figura 4: Bomba de tornillo

- **Partes Principales.**
- **Tornillos:** Uno o más tornillos helicoidales que se mueven para transportar el fluido.
- **Carcasa:** Contiene los tornillos y ayuda a mantener el sellado.
- **Usos:** Eficiente para manejar fluidos viscosos con partículas, como lodos y lodos de aguas residuales. Utilizado en la industria química y de procesamiento de alimentos.

3. Bomba de Paletas:

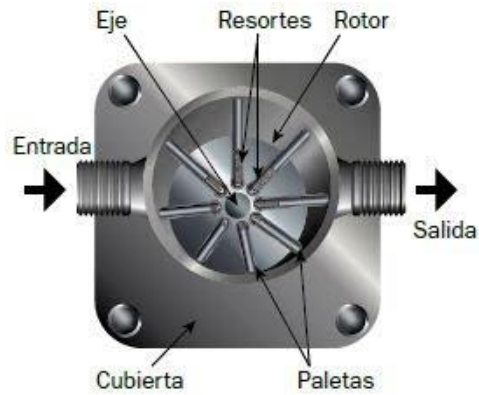


Figura 5: Bomba de paletas.

- **Partes Principales:**
- **Paletas:** Elementos móviles que se deslizan hacia afuera debido a la fuerza centrífuga generada por el rotor.
- **Rotor:** Genera la fuerza centrífuga que desplaza las paletas.
- **Usos:** Ideal para fluidos de baja viscosidad y aplicaciones donde se requiere un flujo constante. Utilizado en sistemas hidráulicos y de lubricación.

4. Bomba Peristáltica.

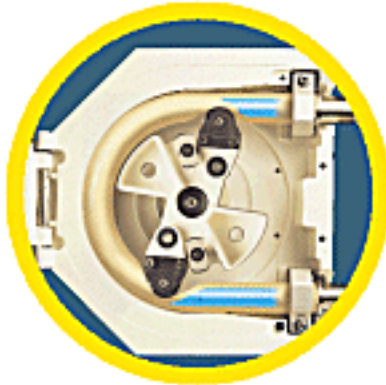


Figura 6: Bomba peristáltica.

- **Partes Principales:**
- **Tubo flexible:** El fluido se desplaza a través de un tubo flexible que se aprieta y libera.
- **Rodillos o zapatas:** Comprimen y liberan el tubo de forma secuencial.
- **Usos:** Perfecta para transferir fluidos sensibles al cizallamiento, como sangre o fluidos químicos delicados. Aplicaciones en la industria farmacéutica, de alimentos y de investigación.

5. Bomba de Lóbulos.



Figura 7: Bomba de lóbulos.

➤ Partes Principales

- **Lóbulos:** Los lóbulos son elementos giratorios que se desplazan dentro de la carcasa, creando cámaras para el fluido.
- **Carcasa:** Contiene los lóbulos y ayuda a mantener el sellado necesario.
- **Usos:** Transferencia eficiente de fluidos viscosos y pegajosos.

Aplicaciones en la industria alimentaria para productos como jarabes y salsas, así como en la manipulación de lodos en el tratamiento de aguas.

Cada tipo de bomba tiene sus propias ventajas y limitaciones, y la elección dependerá de los requisitos específicos de la aplicación. Considera factores como la viscosidad del fluido, la presión requerida, la capacidad de manejar sólidos y la sensibilidad al cizallamiento al seleccionar la bomba adecuada para tu aplicación

1.2.2 Bombas Reciprocas

Las bombas reciprocantes, representan de manera clara el principio del desplazamiento positivo. Este tipo de bombas descargan una cantidad específica de líquido durante el

Bomba de pistón

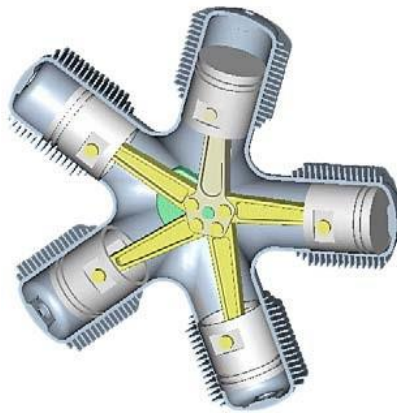


Figura 8: Bomba de pistón.

- 1. Pistón:** Un componente móvil que se desplaza hacia adelante y hacia atrás dentro de un cilindro para comprimir y desplazar el fluido.
- 2. Cilindro:** La cavidad dentro de la cual se mueve el pistón. Puede ser de acero o aleación resistente para soportar presiones y desgaste.
- 3. Válvula de Succión:** Una válvula que permite que el fluido entre en el cilindro durante el movimiento de succión.
- 4. Válvula de Descarga:** Una válvula que permite que el fluido sea expulsado del cilindro durante el movimiento de compresión.
- 5. Bielas y Cigüeñal:** Mecanismos de transmisión que convierten el movimiento lineal del pistón en un movimiento rotativo para accionar la bomba.
- 6. Usos:** Encontramos esta bomba hidráulica funcionando en las áreas de la alimentación, agrícola, minera y la construcción. En agricultura, en labores de fumigación o como bomba de trasvase en sistemas de riego o en la industria de la construcción, para el bombeo de hormigón o de agua a alta presión.

Bomba de Diafragma.

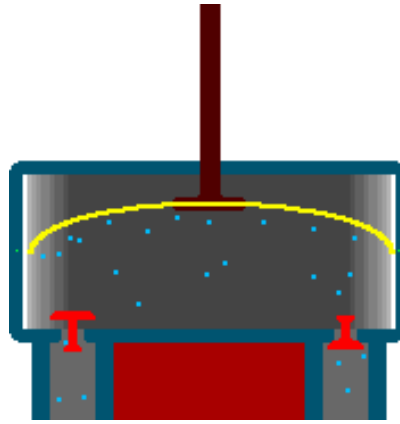


Figura 9: Bomba de diafragma.

1. **Diafragma:** Una membrana flexible que se contrae y se expande, generando presión en el fluido. Puede ser de metal, goma reforzada u otros materiales resistentes.
2. **Carcasa:** La estructura que contiene el diafragma y las otras partes de la bomba. Suele ser resistente a la corrosión.
3. **Válvula de Succión:** Controla el flujo de fluido hacia la cámara de bombeo durante el movimiento de succión del diafragma.
4. **Válvula de Descarga:** Controla el flujo de fluido fuera de la cámara de bombeo durante el movimiento de compresión del diafragma.
5. **Conexiones de Entrada y Salida:** Puntos de conexión para las tuberías de entrada y salida del fluido.
6. **Sistema de Accionamiento:** En algunos casos, puede incluir un motor, una fuente de aire comprimido o un mecanismo manual para accionar el diafragma.
7. **Usos:** Se usan para el trasiego de fluidos y aplicaciones de pulverización a baja presión que requieren un caudal homogéneo y constante.

1.2.3 Bombas cinéticas

En este tipo de bombas la energía es comunicada al fluido por un elemento rotativo que comprime al líquido con el mismo movimiento de rotación, transformándose luego, parte en energía y parte en presión.

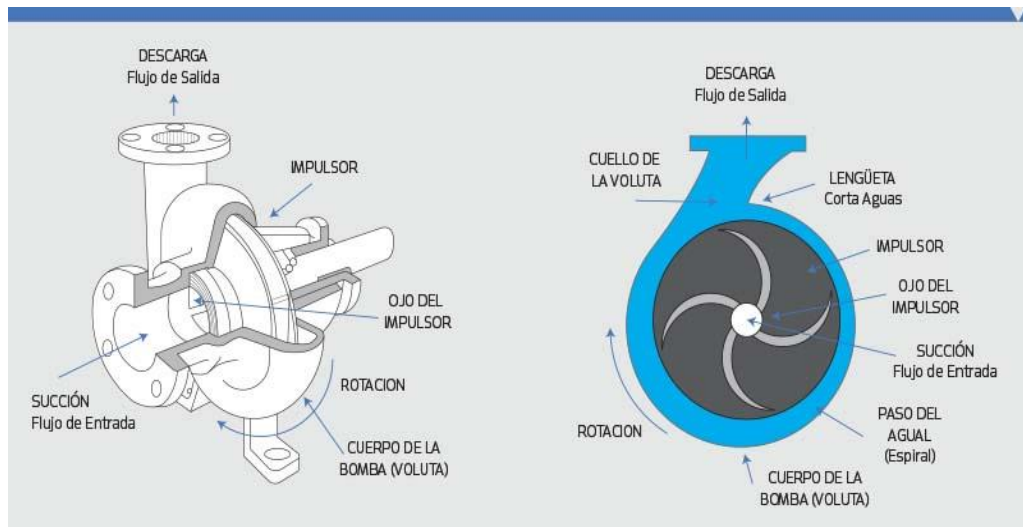


Figura 10: Esquema de funcionamiento bomba centrífuga.

Bomba Cinética Recíproca con Impulsor de Flujo Axial.



Figura 11: Bomba de impulsión.

- 1. Impulsor de Flujo Axial:** Un componente rotativo con palas que están diseñadas para generar un flujo axial del fluido a través de la bomba. Este tipo de impulsor es típicamente eficiente para el movimiento de grandes volúmenes de fluido.
- 2. Bomba Cinética Recíproca:** Utiliza un movimiento recíproco, similar al de un pistón o diafragma, para generar una acción de bombeo. Este movimiento recíproco puede ser impulsado por un motor o un mecanismo manual.

- 3. Cámara de Bombeo:** La parte de la bomba donde se genera la acción recíproca y se encuentra el fluido a bombear.
- 4. Válvulas de Succión y Descarga:** Controlan la entrada y salida del fluido en la cámara de bombeo, asegurando un flujo unidireccional.
- 5. Carcasa:** Envuelve la bomba y proporciona soporte estructural, asegurando un sellado adecuado y guiando el flujo del fluido.
- 6. Uso:** Su aplicación es muy usada en la industria papelera, con la pulpa, en esta industria, además de la industria alimentaria.

2.0 Capítulo 2: Bomba Centrífuga.

Es una turbomáquina hidráulica donde un rotor provisto de álabes le cede energía al fluido de trabajo mediante la acción de la fuerza centrífuga.

La bomba centrífuga, debido a sus características, conforma la clase de bombas hidráulicas de más aplicación dentro de la industria ya que son las más utilizadas para bombear líquidos en general y permiten movilizar grandes cantidades de agua.



Figura 12: Bomba centrífuga.

2.1 Funcionamiento

El funcionamiento consiste en un impulsor o rodete que gira dentro de una caja circular.

Se aplica potencia de una fuente externa al eje que hace girar al impulsor dentro de la carcasa estacionaria.

Las hojas del impulsor al girar a alta velocidad producen una reducción de presión a la entrada del impulsor, esto hace que fluya líquido al impulsor desde la tubería de succión.

El fluido entra a la bomba cerca del eje del impulsor y es llevado hacia fuera por la acción centrífuga, obligándolo a salir a lo largo de las paletas a velocidades tangenciales crecientes.

La energía cinética del fluido aumenta desde el centro del impulsor hasta los extremos de los álabes.

Esta carga de velocidad se convierte en carga de presión conforme pasa el líquido a la cámara espiral y de ahí a la descarga.

2.2 Partes de las bombas centrifugas.

Partes importantes de una bomba centrifuga son:

- Impulsor.
- Carcasa.
- Eje.
- Rodamientos y cojinetes.
- Empaquetadura.
- Prensas estopas.
- Anillos de desgaste.
- Sellos mecánicos.

2.2.1 Impulsor.

Una bomba centrífuga no podría funcionar sin su principal componente, el impulsor de bomba. Mencionamos este elemento como el más importante debido a que es el que genera la fuerza necesaria que permite bombear el fluido de un punto a otro.

Los impulsores son discos giratorios de hierro o acero con álabes; transfieren energía al fluido que se está bombeando de forma radial desde el centro de rotación.

Dependiendo de que tipo de fluido se quiera transmitir, existen 3 tipos de impulsores; Abierto, Semi Abierto y Cerrado.

a) Impulsor abierto

En este tipo de impulsores las paletas están unidas al cubo central, sin ninguna forma, pared lateral o cubierta, y están montadas directamente en un eje.

Los impulsores de bomba abiertos son estructuralmente débiles y requieren valores NPSHR más altos. Normalmente se usan en bombas de bajo diámetro y de bajo costo que manejan sólidos y fluidos abrasivos. Estos tipos de impulsores son comunes en las bombas residuales por donde atraviesan partículas en suspensión presentes en el agua. Los impulsores abiertos son estructuralmente débiles.

Son más sensibles al desgaste que los impulsores cerrados, por lo que su eficiencia se deteriora rápidamente en el servicio erosivo.



Figura 13: Impulsor abierto.

b) Impulsor Semi abierto

Este tipo de impulsor incorpora una pared posterior (cubierta) que sirve para endurecer las paletas y agrega resistencia mecánica.

Se usan en bombas de diámetro medio y con líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos en suspensión. Ofrecen mayor eficiencia y menor NPSHR que los impulsores abiertos.



Figura 14: Impulsor semi abierto.

c) Impulsor cerrado

El impulsor cerrado tiene una pared posterior y una frontal para una resistencia máxima.

Se usan en bombas grandes con alta eficiencia y bajo NPSHR. Pueden operar en servicio de sólidos suspendidos sin obstrucción, pero presentarán altas tasas de desgaste.

El tipo de impulsor cerrado es el más utilizado para bombas centrífugas que manejan líquidos claros. Confían en los anillos de desgaste de espacio libre cercanos en el impulsor y en la carcasa de la bomba.

Los anillos de desgaste separan la presión de entrada de la presión dentro de la bomba, reducen las cargas axiales y ayudan a mantener la eficiencia de la bomba.



Figura 15: Impulsor cerrado.

2.2.2 Carcasa.

La carcasa es otra parte fundamental de la bomba centrífuga, ya que contiene todas las demás partes y proporciona soporte estructural. Su función principal es dirigir el flujo del líquido hacia el impulsor y luego hacia la salida de la bomba. Además, también puede tener mecanismos adicionales como sellos o anillos para evitar fugas y asegurar un cierre adecuado.

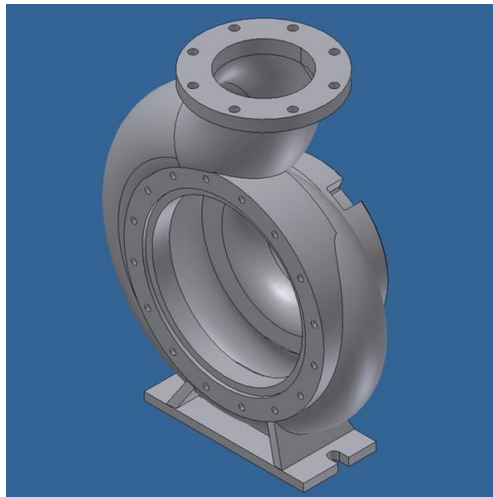


Figura 16: Carcasa.

2.2.3 Eje.

El eje de una bomba centrífuga es el soporte de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo la energía que brinda el motor hacia el impulsor de la bomba, dándole a este el torque y velocidad necesaria para que pueda generar cierta presión y caudal requerido según sistema. Este generalmente esta unido al motor por medio de acoples (machones).

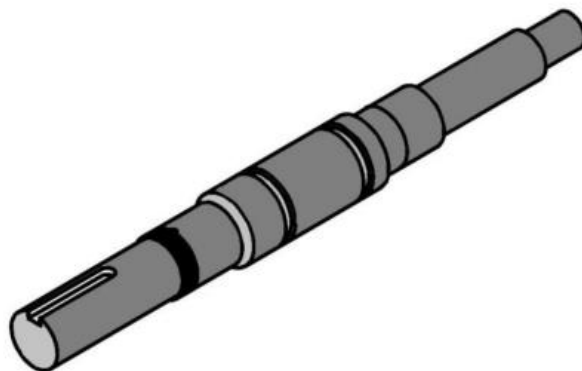


Figura 17: Eje.

2.2.4 Rodamientos o Cojinetes

Las bombas tienen dos tipos de rodamientos o cojinetes, uno de carga colocado en el extremo del lado del impulsor que soporta la mayor parte del peso de la flecha y otro de empuje del lado de la copla que tiene la función de evitar el desplazamiento axial de la flecha hacia ese extremo provocado por la presión del líquido en la succión.

Los rodamientos soportan y guían, con mínima fricción, elementos giratorios u oscilantes de las máquinas, por ejemplo, árboles, ejes o ruedas, y transfieren las cargas entre los componentes de la máquina.

Los rodamientos ofrecen gran precisión y baja fricción y, por lo tanto, admiten velocidades de giro elevadas al tiempo que reducen el ruido, el calor, el consumo de energía y el desgaste. Son elementos rentables e intercambiables de las máquinas, que normalmente corresponden a los estándares de dimensiones nacionales o internacionales.

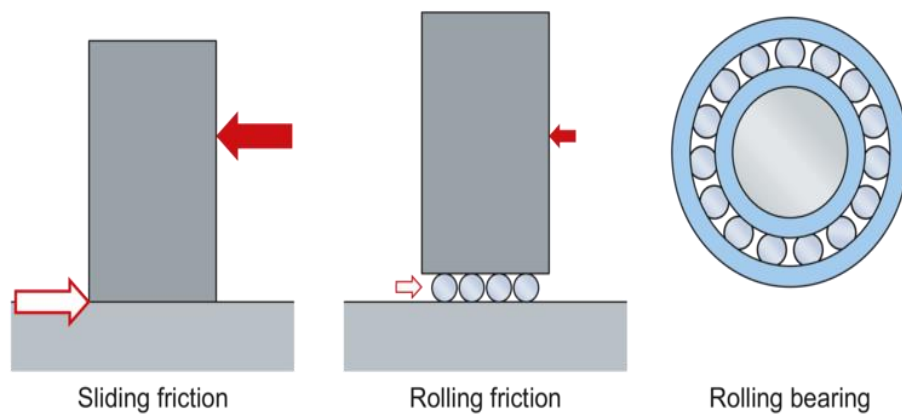


Figura 18: Esquema de funcionamiento rodamiento.

2.2.4.1 Rodamientos de bola y de rodillo

Los dos tipos básicos de elementos rodantes permiten distinguir los dos tipos básicos de rodamientos:

Bola → rodamiento de bolas

Rodillo → rodamiento de rodillos

Las bolas y los rodillos difieren en la forma en que entran en contacto con los caminos de rodadura.

Las bolas establecen contacto puntual con los caminos de rodadura del aro con el incremento de la carga que actúa en el rodamiento, el punto de contacto se transforma en un área elíptica. El área de contacto pequeña genera baja fricción por rodadura, lo que permite a los rodamientos de bolas admitir altas velocidades, aunque también limita su capacidad de carga.

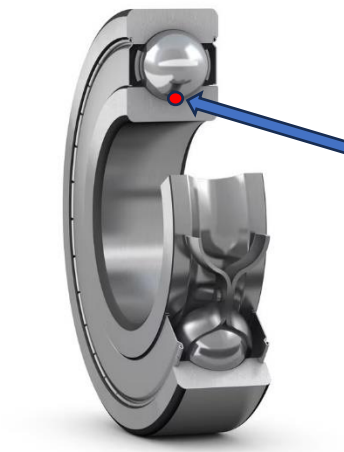


Figura 19: Rodamiento de bola.

Los rodillos establecen contacto lineal con los caminos de rodadura del aro con el incremento de la carga que actúa en el rodamiento, la línea de contacto se va transformando en rectangular. Debido al área de contacto mayor y al consiguiente aumento de la fricción, un rodamiento de rodillos puede soportar cargas más pesadas, pero velocidades más bajas, que un rodamiento de bolas del mismo tamaño.



Figura 20: Rodamiento de rodillo.

2.2.4.2 Rodamientos radiales y axiales

Los rodamientos se clasifican en dos grupos según el sentido de la carga que soportan principalmente:

a) Rodamientos radiales

Los rodamientos radiales soportan cargas que se encuentran, principalmente, en dirección perpendicular al eje. Algunos rodamientos radiales solo pueden soportar cargas puramente radiales, mientras que la mayoría pueden también soportar algunas cargas axiales en un sentido y, en algunos casos, en ambos sentidos.

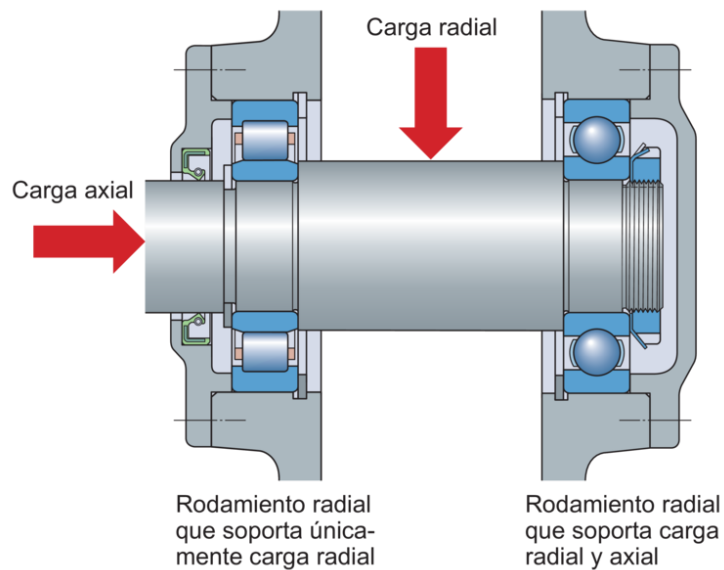


Figura 21: Esquema de carga en rodamientos.

b) Rodamientos axiales

Los rodamientos axiales soportan cargas que actúan, principalmente, de manera axial a lo largo del eje. Según su diseño, los rodamientos axiales pueden soportar cargas puramente axiales en uno o en ambos sentidos (fig. 5), y algunos pueden también soportar cargas radiales (cargas combinadas, fig. 6). Los rodamientos axiales no admiten velocidades tan elevadas como los rodamientos radiales del mismo tamaño.



Figura 22: Carga en un sentido.

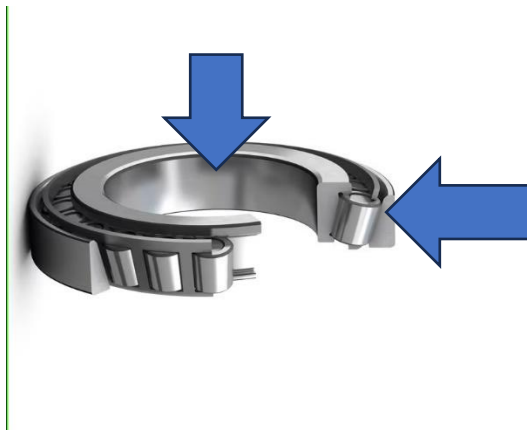


Figura 23: Carga combinada

El ángulo de contacto determina el grupo al que pertenece el rodamiento. Los rodamientos con un ángulo de contacto $\leq 45^\circ$ son rodamientos radiales; los demás son rodamientos axiales.

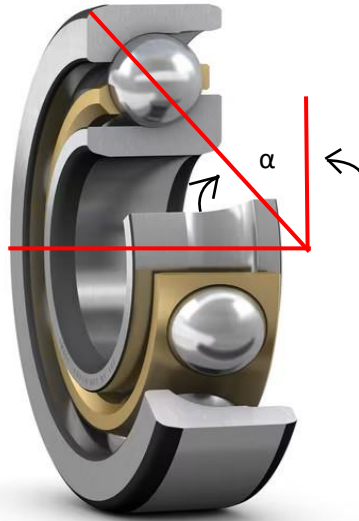


Figura 24: Ángulo de contacto en un rodamiento.

2.2.5 Empaquetadura.

La función de estas es evitar el flujo hacia afuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa el eje de la bomba y el flujo del aire hacia el interior de la bomba. El estopero es una cavidad concéntrica con el eje donde van colocado los empaques; prácticamente en todos los estoperos se tendrán que ejercer una cierta presión para para contrarrestar la que ya existe en el interior de la bomba. En el estopero se coloca junto con la empaquetadura una —jaula de sellol, a través de la cual se le hace llegar de la parte exterior un lubricante que actúa como refrigerante.

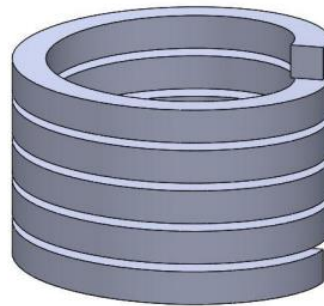


Figura 25: Empaquetadura.

2.2.6 Prensa estopas.

La prensaestopa se encarga de hacer presión sobre los empaques; es una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos.

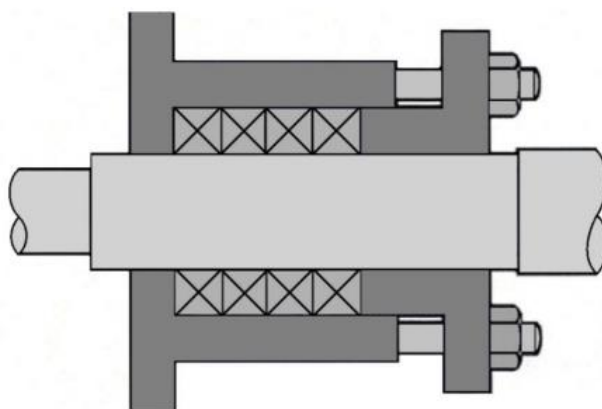


Figura 26: Prensa estopa.

2.2.7 Anillos de desgaste.

La Función de estos anillos es absorber el desgaste que se puede producir en las estrechas holguras existentes entre el impulsor giratorio y la carcasa fija. En esta forma, en lugar de tener que cambiar todo el impulsor o toda la carcasa por efecto del desgaste solamente se quitan los anillos, los cuales pueden estar montados a presión o apernados en la carcasa o en el impulsor, o en ambos.

Existen diferentes tipos de anillos dependiendo de las condiciones de trabajo y del líquido manejado. Estos incluyen:

- Anillos de Planos: Sin anillos, anillo en la Carcasa, dos anillos (Carcasa e impulsor) y anillos dobles con escalón.
- Anillos Tipo L: En la Carcasa, en la Carcasa y en el Impulsor.
- Anillos de Laberinto: Simple, Doble

Deberá cuidarse el claro existente entre los anillos, puesto que si es excesivo se producirá recirculación considerable, y si es reducido, éstos pueden pegarse.

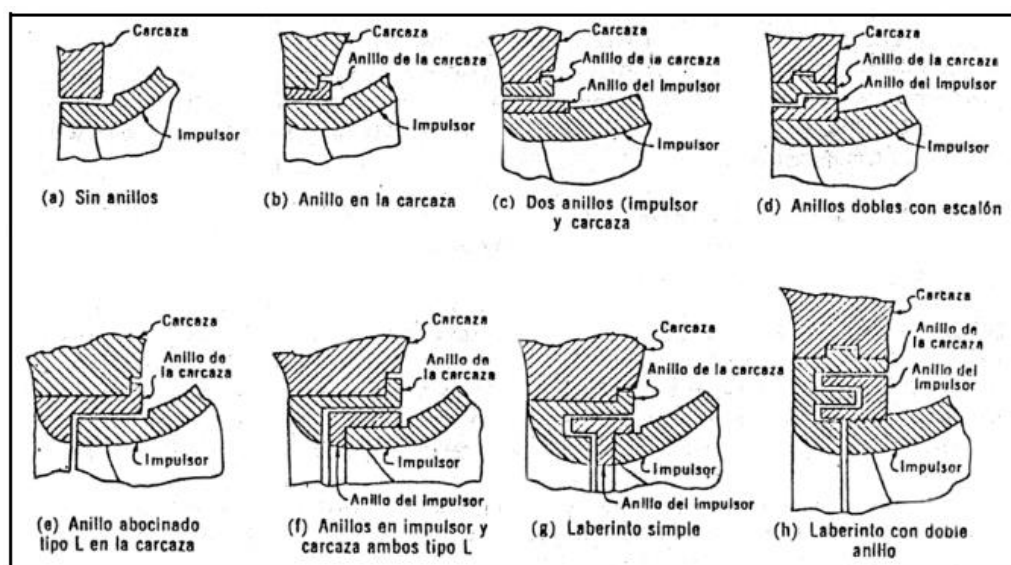


Figura 27: Diferentes tipos de anillos de desgaste.

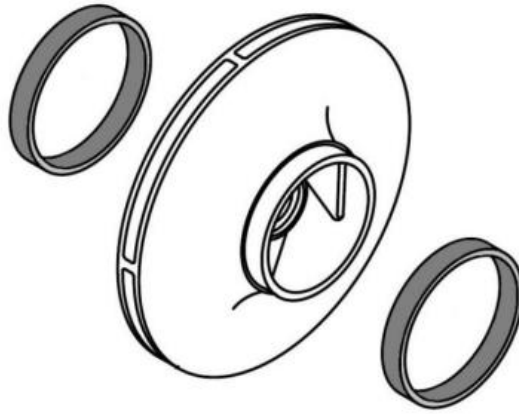


Figura 28: Anillos de desgaste.

2.2.8 Sellos mecánicos.

Los sellos mecánicos son dispositivos creados para evitar por completo las fugas. Normalmente tienen el mismo sitio de ubicación de las empaquetaduras convencionales.

Los sellos mecánicos consisten en dos superficies completamente pulidas que se encuentran en contacto una con otra; una de ellas es estacionaria y se encuentra unida a la carcasa, mientras que la otra gira con el eje.

Ventajas de los sellos mecánicos sobre las empaquetaduras:

- Evita totalmente el goteo, por lo tanto, no se pierde sustancia bombeada.
- Las bases de las bombas son más fáciles de limpiar.
- Los costos de empaquetaduras se reducen.

Desventajas de los sellos mecánicos:

- El lubricante se derrama en abundancia cuando los sellos están malos.
- Solamente personal entrenado puede instalar los sellos.
- No sirven para todos los líquidos.

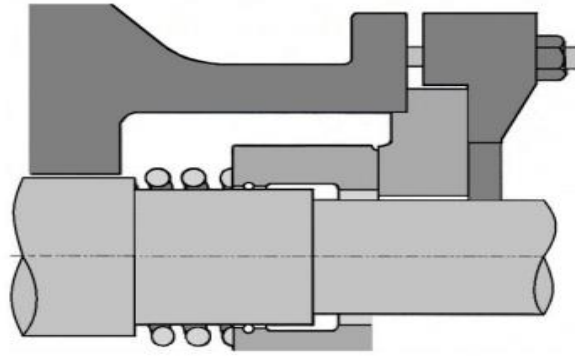


Figura 29: Sello mecánico.

3.0 Capítulo 3: Bombas en serie y en paralelo

En los distintos procesos industriales y comerciales podemos encontrar en las redes de distribución de agua , arreglos de bombas conectadas en serie o en paralelo con la finalidad de adaptarse a una mayor gama de alturas de bombeo y rangos de caudales, para ello se darán a conocer a rasgos generales su funcionamiento y características.

3.1 Bombas en paralelo: maquinas iguales.

Las bombas en paralelo se utilizan en el caso de que necesitemos aportar un determinado caudal y con solo una bomba no se logre alcanzar este punto de funcionamiento, en este caso se usa la asociación de bombas en paralelo, para poder aumentar el caudal, al ser bombas iguales será el doble del caudal de la primera bomba nos proporcionaran ambas la mitad del caudal que necesitamos.

La ecuación que nos dará la curva de la bomba en altura en máquinas iguales con la misma velocidad de giro será definida por:

$$H = A + BQ + CQ^2$$

Y el rendimiento de la bomba por:

$$R = EQ + FQ^2$$

El caudal resultante de asociar las dos bombas en paralelos vendrá establecido por la ecuación:

$$H = A + \frac{B}{n}Q + \frac{C}{n^2}Q^2$$

Su rendimiento se establecerá mediante la ecuación y así para ambas bombas por el hecho de ser maquinas iguales:

$$n_{B1} = EQ_{B1} + FQ_{B1}^2$$

$$n_{Bn} = EQ_{Bn} + FQ_{Bn}^2$$

El caudal que aportará cada bomba vendrá definido por la expresión de:

$$Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{Bn} = \frac{Q}{n}$$

3.1.1 Ejemplo demostrativo de bombas en paralelo: Maquinas iguales

En una bomba la cual su curva viene definida por la expresión $H_b = 50 + 50 Q - 3700Q^2$ (mca, $\frac{m^3}{s}$) y su rendimiento por la expresión $n = 1365 Q - 12000Q^2$ (% , $\frac{m^3}{s}$).

En este caso la bomba opera en una instalación cuya curva del sistema viene definida por la expresión $H_r = 35 + 760Q^2$ (mca, $\frac{m^3}{s}$). Si asociamos las dos bombas en paralelo siendo estas máquinas iguales, ¿cuál sería su punto de funcionamiento el sistema plateado?

La curva resultante de ambas bombas será entregada por la expresión: en la cual su variable es el denominador que serán las cantidades de bombas puestas en paralelo.

$$H = 50 + \frac{50}{2} Q - \frac{3700}{2^2} Q^2$$

$$H = 50 + 25Q - 925Q^2$$

$$H_r = 35 + 760Q^2$$

Para obtener nuestro punto de funcionamiento tenemos que igualar la H resultante con la H_r y esta nos proporcionara nuestra altura en el punto de funcionamiento.

$$H = 43,25 \text{ mca}$$

$$Q = 0,1 \frac{m^3}{s}$$

Nuestro Q viene definida por

$$Q_{B1} = Q_{B2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \frac{m^3}{s}$$

El rendimiento de cada bomba siendo usadas en paralelo y siendo iguales será:

$$n_{B1} = n_{B2} = 1365 * 0,05 - 12000 * 0,05^2 = 38,25\%$$

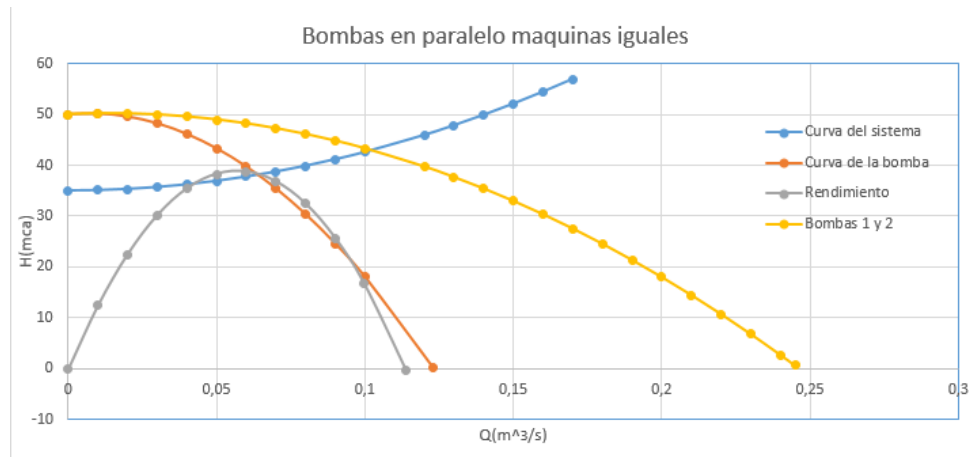


Figura 30: Gráfico de la bomba en paralelo, máquinas iguales.

3.2 Bomba en paralelo: máquinas diferentes

Las bombas en paralelo como ya fue descrito en la anterior se usan para cubrir un caudal cuando solo una bomba no es suficiente para alcanzar el punto de funcionamiento, en este caso y siendo distinto del otro, las máquinas no son iguales por ello se usan diferentes polinomios para encontrar el punto de funcionamiento.

La curva que define a las bombas en paralelo se expresa por:

$$H = A + \frac{B}{n} Q + \frac{C}{n^2} Q^2$$

Si tenemos dos bombas distintas debemos ver que caudal debe aportar cada una de ellas, porque al ser distintas entregan diferentes caudales, por ende, cada una aportara la altura que le corresponda para hacer funcionar la instalación.

Las curvas de las bombas se definen por el polinomio:

CURVA DE LA BOMBA N°1

$$H_{B1} = A_1 + B_1Q + C_1Q^2$$

CURVA DE LA BOMBA N°2

$$H_{B2} = A_2 + B_2Q + C_2Q^2$$

A diferencia de cuando son máquinas iguales, en este caso una tendrá más altura en MCA que la otra, esta se tomará como referencia para poder subdividir la curva en:

Tramo OA: Solo funciona B1

$$H_{B1} = A_1 + B_1Q + C_1Q^2$$

Desde A: Funciona B1 y B2

$$H_{B1+B2} = A_p + B_pQ + C_pQ^2$$

Teniendo la ecuación en la cual funcionan ambas bombas de forma que ambas entreguen un funcionamiento óptimo y no se exceda una más que la otra solo nos faltaría encontrar los puntos del polinomio que sería: A_p, B_p, C_p .

Para encontrar el punto A: $(H_A, Q_{A(B1)})$.

$$H_{B1} = H_{B2}(Q = 0) = A_2 = H_A$$

Se establece cuando se iguala la altura de la B1 y B2 cuando el caudal es igual a 0.

Para encontrar el punto B: (H_B, Q_B)

$$H_B = A_1 + B_1Q + C_1Q^2 \rightarrow Q_{B(B1)}$$

$$H_B = A_2 + B_2Q + C_2Q^2 \rightarrow Q_{B(B2)}$$

$$Q_B = Q_{B(B1)} + Q_{B(B2)}$$

Se definirá la altura H_B por debajo de la altura H_A , y la aplicaremos para ambas ecuaciones tanto como para la B1 y la B2, obteniendo el caudal que aportan ambas bombas para esa altura y como las bombas están en paralelo el caudal aportado por ambas bombas juntas será el caudal del punto B y su altura la que hallamos definido por debajo de H_A .

Para encontrar el punto C: (H_C, Q_C)

$$H_C = A_1 + B_1Q + C_1Q^2 \rightarrow Q_{B(B1)}$$

$$H_C = A_2 + B_2Q + C_2Q^2 \rightarrow Q_{B(B2)}$$

$$Q_C = Q_{C(B1)} + Q_{C(B2)}$$

Se considera una H_C por debajo de H_A y H_B , así obteniendo los valores de caudal para el punto C tanto para la B1 y B2, el caudal total vendrá definido por la expresión del caudal de la B1 y la B2.

Si obtenemos los tres puntos que buscábamos en nuestra ecuación A, B y C. podremos crear un sistema de ecuaciones con tres incógnitas A_P, B_P, C_P , tras resolver el sistema nos darán los valores de nuestras incógnitas.

$$H_{B1+B2} = A_P + B_PQ + C_PQ^2$$

$$H_A = A_P + B_PQ_A + C_PQ_A^2$$

$$H_B = A_P + B_PQ_B + C_PQ_B^2 \rightarrow A_P, B_P, C_P$$

$$H_C = A_P + B_PQ_C + C_PQ_C^2$$

Ya para obtener el punto de funcionamiento de la instalación cuando el caudal es mayor que el caudal de H_A , tendremos que igualar la curva del sistema a la nueva curva obtenida desde el punto A obteniendo el punto de funcionamiento de nuestro sistema.

$$H_R = A + BQ^2$$

$$H_{B1+B2} = A_P + B_PQ + C_PQ^2 \rightarrow F(Q_F, H_F)$$

El rendimiento de cada una de las bombas será descrito por la ecuación:

$$\eta_{B1} = E_1Q_{B1(F)} + F_1Q_{B1(F)}^2$$

$$\eta_{B2} = E_2Q_{B2(F)} + F_2Q_{B2(F)}^2$$

3.2.1 Ejemplo demostrativo de bombas en paralelo: Maquinas diferentes

Dos bombas vienen definidas por la expresión $H_{B1} = 75 + 50Q - 3700Q^2(mca, \frac{M^3}{S})$ y $H_{B2} = 67 + 40Q - 2800Q^2(mca, \frac{M^3}{S})$. Sus rendimientos por la expresión $\eta_{B1} = 1700Q - 12000Q^2(\%, \frac{M^3}{S})$ y $\eta_{B2} = 1600Q - 11000Q^2(\%, \frac{M^3}{S})$. El sistema opera en una instalación cuya curva del sistema viene definida por la expresión $H_R = 35 + 760Q^2(mca, \frac{M^3}{S})$. Si se instala en paralelo, ¿cuál es su punto de funcionamiento?

Punto A.-(H_A, Q_A)

$$H_{B1} = H_{B2}(Q = 0)$$

$$H_{B1} = 75 + 50Q - 3700Q^2 = 67mca$$

$$H_A = 67mca$$

$$Q_A = 0,0536 \frac{M^3}{S}$$

Punto B.- (H_B, Q_B)

$$63 = 75 + 50Q - 3700Q^2 \rightarrow Q_{B(B1)} = 0,0641 \frac{M^3}{S}$$

$$63 = 67 + 40Q - 2800Q^2 \rightarrow Q_{B(B2)} = 0,0456 \frac{M^3}{S}$$

$$Q_B = 0,0641 + 0,0456$$

$$Q_B = 0,1097 \frac{M^3}{S}$$

$$H_B = 63 mca$$

Punto C.-(H_C, Q_C)

$$60 = 75 + 50Q - 3700Q^2 \rightarrow Q_{B(B1)} = 0,0707 \frac{M^3}{S}$$

$$60 = 67 + 40Q - 2800Q^2 \rightarrow Q_{B(B2)} = 0,0576 \frac{M^3}{S}$$

$$Q_C = 0,0707 + 0,0576$$

$$Q_C = 0,1283 \frac{M^3}{S}$$

$$H_C = 60mca$$

Ya con los tres puntos de funcionamiento descritos, podemos obtener un sistema de ecuaciones con tres incógnitas para obtener A_p, B_p, C_p .

$$H_{B1+B2} = A_p + B_p Q + C_p Q^2$$

$$67 = A_p + B_p 0,0536 + C_p 0,0536^2 \rightarrow 63,73$$

$$63 = A_p + B_p 0,1097 + C_p 0,1097^2 \rightarrow 125,42$$

$$60 = A_p + B_p 0,1283 + C_p 0,1283^2 \rightarrow 1204,67$$

Una vez resuelto el sistema de ecuaciones tenemos que:

$$Q < 0,0536 \frac{M^3}{S}; \text{ solo } B1. H = 75 + 50Q - 3700Q^2$$

$$Q \geq 0,0536 \frac{M^3}{S}; B1 + B2. H = 63,73 + 125,42Q - 1204,67Q^2$$

Ahora basta con igualar ambas expresiones para obtener el punto de funcionamiento.

$$H_R = 35 + 760Q^2$$

$$H_{B1+B2} = 63,73 + 125,42Q - 1204,67Q^2$$

$$35 + 7600Q^2 = 63,73 + 125,42Q - 1204,67Q^2$$

$$0 = 63,73 - 35 + 125,42Q - 1204,67Q^2 - 760Q^2$$

$$0 = 28,73 + 125,421Q - 1964,67Q^2$$

$$Q = 0,156 \frac{M^3}{S}$$

$$H_R = 53,97 \text{ mca}$$

Mientras que el caudal para B1 en ese punto de funcionamiento será:

$$Q = 0,156 \frac{M^3}{S}$$

$$H_R = 53,97 \text{ mca}$$

$$H_{B1} = 75 + 50Q - 3700Q^2$$

$$0 = 75 - 53,97 + 50Q - 0,156Q - 3700Q^2$$

$$0 = 21,03 + 49,844Q - 3700Q^2$$

$$0 = 0,0824 \frac{M^3}{S}$$

Entonces B1 trabajara con un caudal de:

$$Q_{B1} = 0,0824 \frac{M^3}{S}$$

Caso de B2 su caudal en el punto de funcionamiento será:

$$Q = 0,156 \frac{M^3}{S}$$

$$H_R = 53,97 mca$$

$$H_{B2} = 67 + 40Q - 2800Q^2$$

$$0 = 63 - 53,97 + 40Q - 0,156Q - 2800Q^2$$

$$0 = 9,03 + 39,844Q - 2800Q^2$$

$$0 = 0,0643 \frac{M^3}{S}$$

Entonces B2 trabajara con un caudal de:

$$Q_{B2} = 0,0643 \frac{M^3}{S}$$

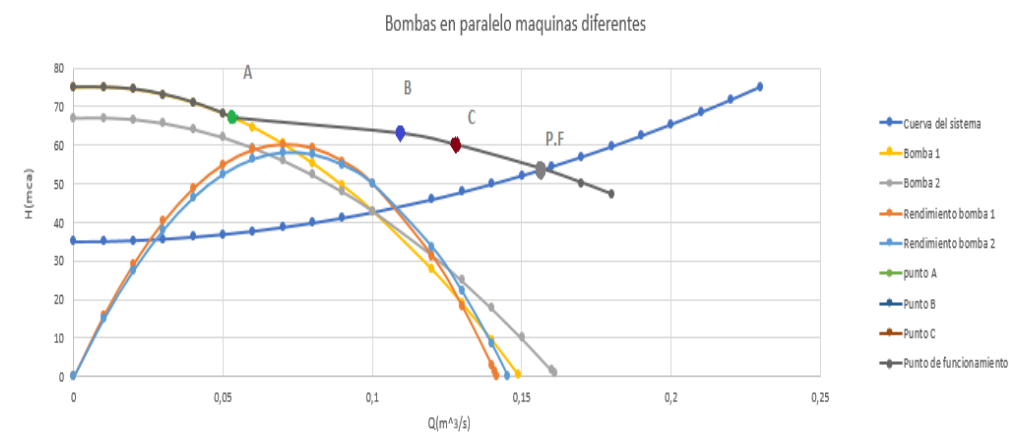


Figura 31: Gráfico de bombas en paralelo, máquinas diferentes.

3.3 Bomba en serie: maquinas iguales

En un sistema en el que dos o más bombas están conectadas en serie, el caudal resultante de una bomba se entrega como entrada a la siguiente. Esta configuración permite obtener alturas de bombeo mayores a las que se lograrían con cada bomba individualmente. Al trabajar en conjunto, las bombas en serie pueden generar una mayor presión y superar las limitaciones de altura de bombeo de una sola bomba, considera que ambas maquinas son iguales en sus presión y caudal.

Para un mismo caudal y mayor altura se deben configurar en serie las bombas y saca provecho de la sumatoria de sus alturas, en este caso para maquinas iguales se utilizará la expresión:

$$H = A + BQ - CQ^2$$

Su eficiencia vendrá definida por la expresión:

$$\eta = EQ + FQ^2$$

Como las maquinas aportaran el mismo caudal y sumaran las alturas, podemos obtener la curva resultante de ambas bombas en serie, su rendimiento que será el mismo para ambas y su caudal que igual será el mismo.

$$H = n(A + BQ - CQ^2)$$

$$\eta_{B1} = \eta_{Bn} = EQ_{B1} + FQ_{B1}^2$$

$$Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{Bn} = Q$$

3.3.1 Ejemplo demostrativo de bombas en serie: maquinas iguales

Una bomba cuya curva de la bomba viene expresada por $H_B = 65 + 93Q - 4750Q^2$ (mca, $\frac{M^3}{S}$) y su rendimiento por la expresión $\eta = 1580Q - 12000Q^2$ (% , $\frac{M^3}{S}$). Las bombas operan en una instalación donde la curva del sistema viene definida por la expresión $H_R = 80 + 760Q^2$ (mca, $\frac{M^3}{S}$). Si asociamos en serie dos máquinas iguales, ¿cuál es el punto de funcionamiento?

Primero aplicaremos la expresión para determinar la altura de una bomba y considerando que son dos máquinas iguales se multiplicaran por dos de tal forma que se vea expresado así:

$$H = 2(65 + 93Q - 4750Q^2)$$

$$H = 130 + 186Q - 9500Q^2$$

$$H_R = 35 + 760Q^2$$

Si desarrollamos esta asociación obtendremos nuestra altura en el punto de funcionamiento:

$$H = 130 + 186Q - 9500Q^2$$

$$H_R = 35 + 760Q^2$$

$$H = 84,08 \text{ mca}$$

Su caudal será el mismo por el hecho de ser iguales:

$$Q_{B1} = Q_{B2} = 0,08 \frac{M^3}{S}$$

El rendimiento de ambas bombas será el mismo:

$$\eta_{B1} = \eta_{B2} = 1365Q * 0,08 - 12000 * 0,08^2 = 32,4\%$$

Sera el rendimiento para cada bomba en ese punto de funcionamiento:

$$\eta = 32,4\%$$

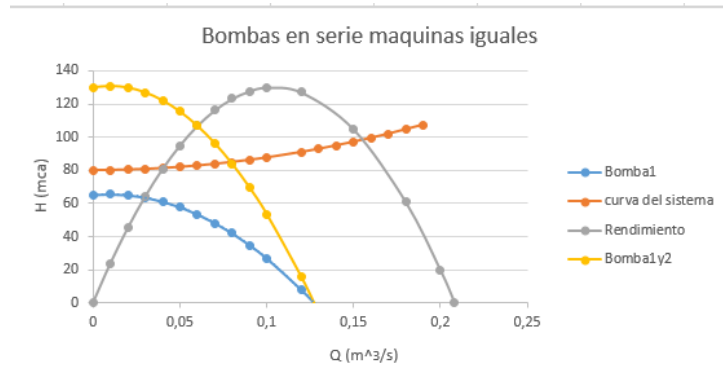


Figura 32: Gráfico de bombas en serie, máquinas iguales.

3.4 bombas en serie: máquinas diferentes

La necesidad de asociar bombas en serie y que estas no sean máquinas iguales son en raros casos, por el hecho de que casi siempre se suelen usar más las máquinas iguales, las bombas en serie me ayudarán con la presión de altura, no con el aumento del caudal.

La ecuación que nos permite saber cuál será la curva de cada bomba en serie siendo máquinas diferentes:

BOMBA 1

$$H_{B1} = A_{B1} + B_{B1}Q + C_{B1}Q^2$$

$$\eta_{B1} = E_1Q + F_1Q^2$$

BOMBA 2

$$H_{B2} = A_{B2} + B_{B2}Q + C_{B2}Q^2$$

$$\eta_{B2} = E_2Q + F_2Q^2$$

La curva resultante de usar dos bombas en serie siendo estas máquinas distintas se expresa como:

$$H = (A_1 + A_2) + (B_1 + B_2)Q + (C_1 + C_2)Q^2$$

Para encontrar el punto de funcionamiento:

$$H = (A_1 + A_2) + (B_1 + B_2)Q + (C_1 + C_2)Q^2$$

$$H_R = A + BQ^2$$



$$F(Q_F, H_F)$$

Mientras que su rendimiento será dado por la expresión:

$$\eta_{B1} = E_1 Q_F + F_1 Q_F^2$$

$$\eta_{B2} = E_2 Q_F + F_2 Q_F^2$$

Cuando se asocian bombas en serie siendo maquinas diferentes, se debe tener especial precaución a si su funcionamiento es correcto o incorrecto, ya que, se puede cometer el error de usar una bomba como turbina, puesto que, de valores de altura negativos para esos caudales, este se identifica, comprobando el caudal de funcionamiento con el caudal denominado del punto de funcionamiento P:

$$H_{B1} = H_{B2} \quad \rightarrow \quad P(Q_P, H_P)$$

Si el caudal de funcionamiento $Q_F > Q_P$, será incorrecto el funcionamiento.

En cambio, si el caudal de funcionamiento $Q_F < Q_P$ será correcto el funcionamiento.

3.4.1 Ejemplo demostrativo de bombas en serie: maquinas diferentes

En una instalación se encuentran dos bombas asociadas en serie, estas son máquinas diferentes en la cual una de ellas vendrá expresada por $H_{B1} = 25 + 93Q - 4750Q^2 (mca, \frac{M^3}{S})$ y $H_{B2} = 30 + 120Q - 3220Q^2 (mca, \frac{M^3}{S})$. Sus respectivas curvas de eficiencia vienen definidas por $\eta_{B1} = 1365Q - 12000Q^2 (\%, \frac{M^3}{S})$ y $\eta_{B2} = 1240Q - 10500Q^2 (\%, \frac{M^3}{S})$. Las bombas están en una instalación donde la curva del sistema está definida por la expresión $H_R = 32 + 760Q^2 (mca, \frac{M^3}{S})$. Si se asocian en serie, ¿cuál sería su punto de funcionamiento?

$$H = (25 + 30) + (93 + 120)Q - (4750 + 3220)Q^2$$

$$H = 55 + 213Q - 7970Q^2$$

$$H_R = 32 + 760Q^2$$

Nuestra altura será de funcionamiento será:

$$H = 34,088 \text{ mca}$$

Y nuestro caudal de funcionamiento será:

$$Q_{B1} = Q_{B2} = 0,06 \frac{M^3}{S}$$

La eficiencia de la B1 será de:

$$\eta_{B1} = 1365 * 0,06 - 12000 * 0,06^2 = 77,58\%$$

Y la eficiencia de B2 será de:

$$\eta_{B2} = 1240 * 0,06 - 10500 * 0,06^2 = 36,6\%$$

En este caso la asociacion de las bombas esta funcionando correctamente, ya que, el punto de funcionamiento es menos que el punto P

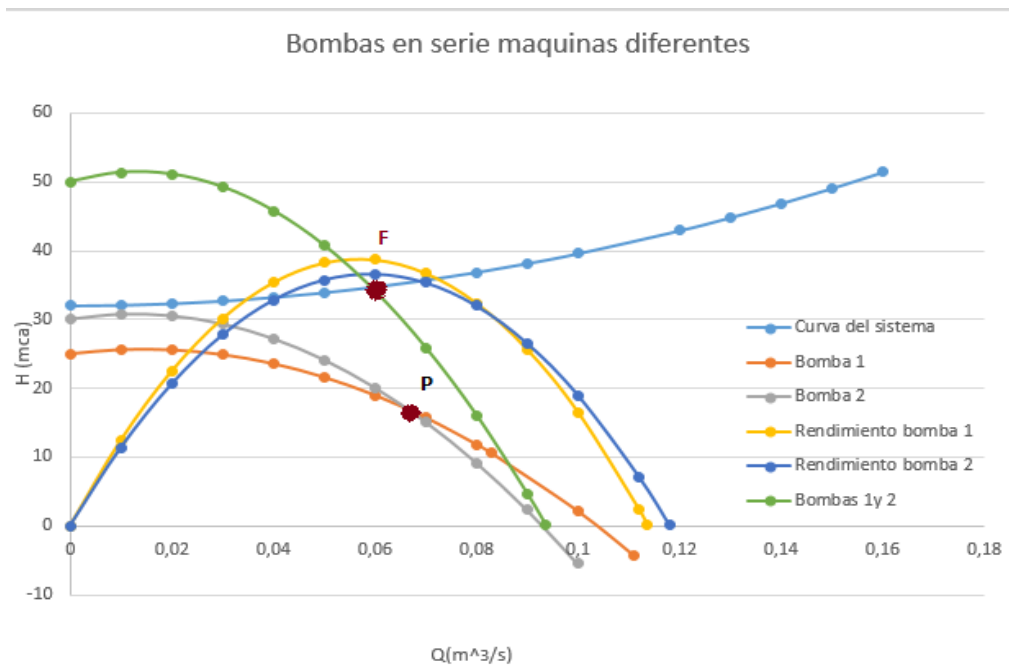


Figura 33: Gráfico de bombas en serie, máquinas diferentes

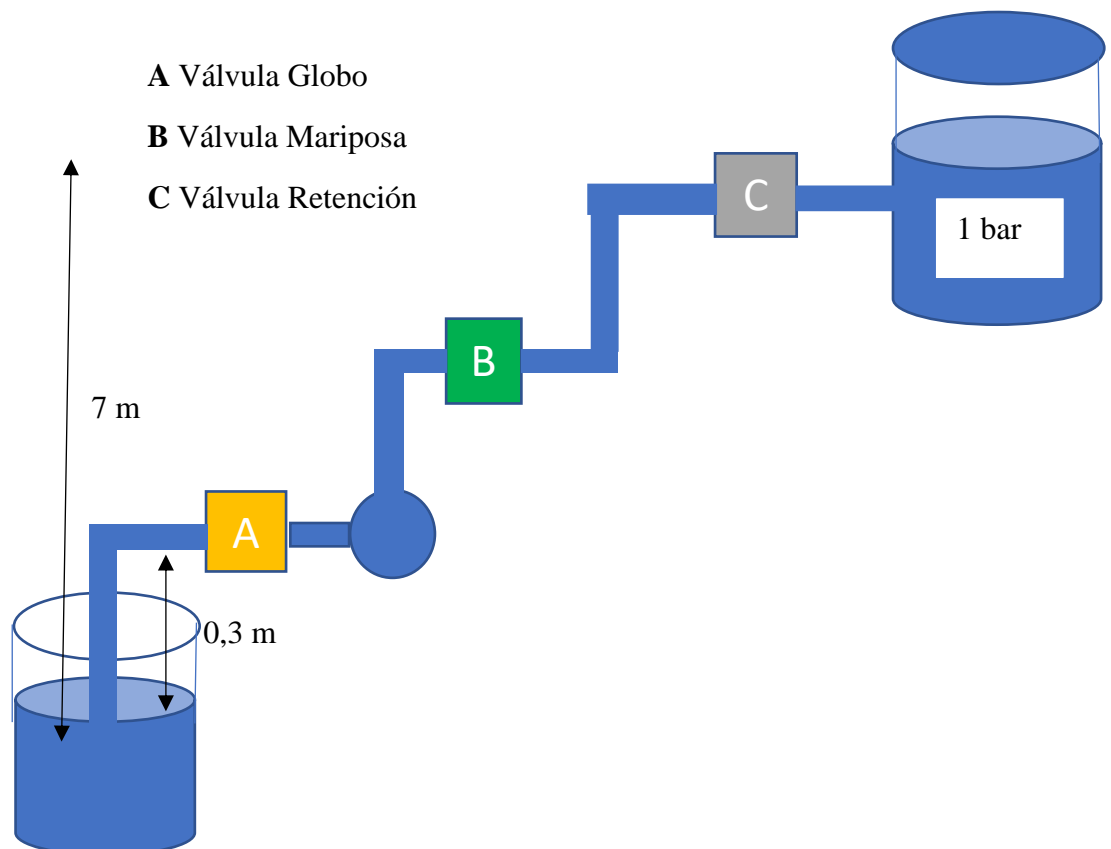
4.0 Capítulo 4: Selección de la bomba

A partir de nuestra inquietud por mejorar constantemente nuestro espacio de estudio, en el taller de turbo máquinas de nuestra sede teniendo en cuenta nuestra fascinación con el sector hidráulico, concretamos este estudio con el fin de encontrar una manera practica de mostrar a nuestros compañeros, la importancia de los distintos factores, que se tienen en cuenta a la hora de buscar la eficiencia, tales como:

- Calcular curva del sistema.
- Seleccionar una bomba para la curva del sistema y dar así su punto de operación.
- El NPSH disponible y señalar si existe cavitación o no.
- Las RPM de la bomba para obtener un caudal de 10 litros/seg manteniendo la válvula completamente abierta. La bomba gira a 2900RPM.

A continuación, se dará estudio teórico del sistema hidráulico propuesto.

La figura representa un circuito de impulsión de agua a 20°C desde el estanque 1 hasta el estanque 2. El desnivel entre los estanques que están abiertos a la atmosfera es de 7m, y la tubería tiene una longitud total de 21m, con un diámetro interior de 0.0508m (2"). Tubería de acero galvanizado. Para esto se deberá calcular:



a) Curva Sistema

Para comenzar, se plantea la fórmula de Bernoulli la cual permite calcular la curva del sistema:

$$\frac{P_1}{\delta * g} + \frac{V_1}{2 * g} + h_1 + H = \frac{P_2}{\delta * g} + \frac{V_2}{2 * g} + h_2 + \Delta$$

Donde:

P_1 y P_2 = Puntos de presión del sistema

V_1 y V_2 = Velocidades en puntos correspondientes dentro del sistema

h_1 y h_2 = Alturas verticales relativas dentro del sistema

H = Altura o energía que suministrará la bomba

δ = Densidad (kg/m^3)

g = Constante gravitatoria ($9,8 m/s^2$)

Δ = Pérdidas de carga del sistema

Esta es simplificada, descartando ciertos puntos de presión, velocidades y altura:

Tomando de referencia el punto "1" el estanque de succión, la presión en 1 " $\frac{P_1}{\delta x g}$ " es atmosférica la cual es cero por lo que es descartada; en el punto 1 la velocidad " $\frac{V_1}{2xg}$ " es despreciable por lo que también es descartada; debido a que nuestra altura " H_1 " es nuestra referencia (estanque de succión) es cero; en " H " hay que visualizar si hay energía de la bomba, en este caso si la hay, ya que, esta se encuentra entre el punto 1 y el punto 2, en donde esta será la altura o energía que suministrara la bomba; se visualiza si hay presión en 2 " $\frac{P_2}{\delta x g}$ ", en donde se observa que tenemos 1 bar; la velocidad en 2 " $\frac{V_2}{2xg}$ " es despreciable por lo que se descarta; La altura en el punto 2 " H_2 " es la que hay entre el punto 1 y 2 por lo que es 7 m; finalmente se visualiza si hay pérdidas de carga, por lo que si las hay debido a los componentes del sistema.

$$\frac{P_1}{\delta * g} + \frac{V_1}{2 * g} + H_1 + H = \frac{P_2}{\delta * g} + \frac{V_2}{2 * g} + H_2 + \Delta$$

$$\frac{P_1}{\delta * g} + \frac{V_1}{2 * g} + H_1 + H = \frac{P_2}{\delta * g} + \frac{V_2}{2 * g} + H_2 + \Delta$$

$$H = \frac{P_2}{\delta x g} + H_2 + \Delta$$

Luego de simplificar nuestra formula esta debe de ser reemplazada con los datos que ya se tienen y calcularlos:

$$H = \frac{100000(pa)}{1000 * 9.8} + 7 + \Delta$$

$$H = 10,2 + 7 + \Delta$$

$$H = 17,2 + \Delta$$

Teniendo este resultado, se procede a calcular las pérdidas de carga “ Δ ”, la cual representa dos tipos de perdidas: Por longitud “ Δ_L ” y por Singularidades del sistema “ Δ_S ” (codos, accesorios, válvulas, etc).

$$\Delta = \Delta_L + \Delta_S$$

Esta ecuación queda representada de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{V^2}{2 * g} \left(\frac{F * L}{d} + \Sigma k \right)$$

Teniendo este resultado, se procede a calcular las pérdidas de carga “ Δ ”, la cual representa dos tipos de perdidas: Por longitud “ Δ_L ” y por Singularidades del sistema “ Δ_S ” (codos, accesorios, válvulas, etc).

$$\Delta = \Delta_L + \Delta_S$$

Esta ecuación queda representada de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{V^2}{2 * g} \left(\frac{F * L}{d} + \Sigma k \right)$$

MATERIAL	k (m) - TUBOS NUEVOS	k (m) - TUBOS USADOS
Acero galvanizado	0,00015 - 0,00020	0,0046
Acero remachado	0,0010 - 0,0030	0,0060
Acero remachado	0,0004	0,0005 - 0,0012
Acero soldado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Chumbo	lisos	lisos
Cimento amianto	0,000013	-----
Cobre o latón	lisos	lisos
Concreto bien acabado	0,0003 - 0,0010	-----
Concreto común	0,0010 - 0,0020	-----
Fierro forjado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Fierro fundido	0,00025 - 0,00050	0,0030 - 0,0050
Madera	0,0002 - 0,0010	-----
Tubería de desagüe cerámica	0,0006	0,0030
Vidrio	lisos	lisos
Plástico	lisos	lisos

Tabla 1: Tabla de rugosidades de materiales.

$$F \begin{cases} \nearrow R_e = \frac{\text{Densidad} \cdot \text{Velocidad} \cdot \text{Diametro}}{\text{Viscosidad absoluta}} = \frac{1000 \cdot v \cdot 0.0508}{1 \cdot 10^{-3}} = 50.800 * v \\ \searrow R_R = \frac{\text{Rugosidad del material}}{\text{Diametro}} = \frac{0.00015}{0.0508} = 0.002 \end{cases}$$

Entonces obtenidos ya los resultados de “ R_e ” y “ R_R ”, posteriormente se entrará al grafico de Moody para obtener “ F ”.

Por consiguiente, faltaría obtener “ k ” la cual depende de las singularidades que tenga el sistema, en donde cada “singularidad” tiene un valor de perdida de carga como se muestra en la siguiente tabla:

PIEZAS QUE PRODUCEN PÉRDIDA	K
Ampliación gradual	0,30
Entrada	2,75
Compuerta abierta	2,50
Medidor de caudal	2,50
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,75
Cribo	0,40
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22,5°	0,10
Entrada normal en un canal	0,50
Entrada extendida	1,00
Pequeña derivación	0,03
Empalme	0,40
Medidor tipo Venturi	2,50
Reducción gradual	0,15
Válvula de globo en ángulo abierta	5,00
Válvula de corte abierta	0,20
Válvula de globo abierta	10,0
Tee, con pasada directa	0,60
Tee, con pasada lateral	1,30
Tee, con salida lateral	1,30
Tee, con salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Velocidad	1,00

Tabla 2: Tabla de pérdidas de carga.

A diferencia de las otras válvulas, la de mariposa no tiene una pérdida de carga específica porque esta depende de su porcentaje de abertura, por lo que se verá su pérdida de carga según el siguiente gráfico de esta:

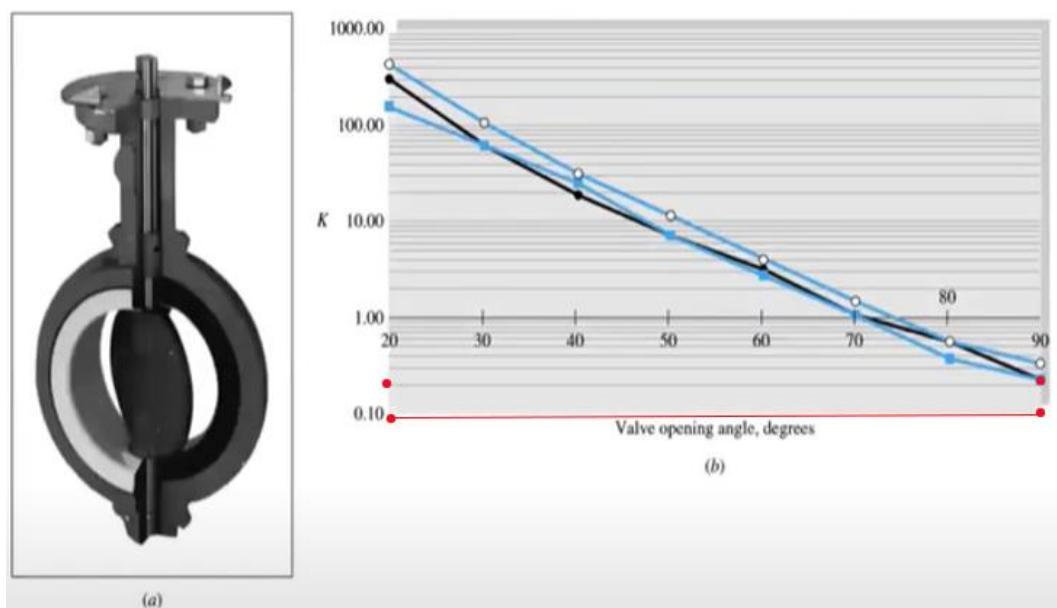


Figura 34: Gráfico de pérdida de carga según abertura.

Viendo el gráfico entonces, esta muestra que a su 90% de abertura esta tiene un “ k ” de 0.2, entonces asumiendo que en el caso del 100% de abertura esta tendría un “ k ” de 0.1.

Teniendo así las pérdidas de carga del sistema:

Accesorios	k
Entrada	2.75
Codos*4	0.90
Válvula de Globo	10
Válvula de Mariposa	0.1
Válvula de Retención	2.5
Salida	1
$\Sigma k \rightarrow$	19.95

Tabla 3: Tabla de pérdidas de carga del sistema.

Obtenidos estos valores, se reemplazan los datos de la ecuación principal:

$$H = 17,2 + \Delta$$

$$H = 17.2 + \frac{V^2}{2 * g} \left(\frac{F * 21}{0.0508} + 19.95 \right)$$

Se debe tener en cuenta que la operación de la bomba se realiza en la intersección de la curva del sistema con la curva de la bomba, por lo que se sacara la curva del sistema.

Para sacar nuestra curva del sistema trabajaremos con una tabla que se formara de la siguiente manera:

Velocidad	Caudal (lt/s)	Nº Reynolds	F	H Total

Tabla 4: Tabla de curva sistema 1.

Primero se colocarán las velocidades que uno estime conveniente, las que en este caso serán: 1, 2, 3, 4 y 5.

Luego se calcula el caudal el cual se calculará según las velocidades:

$$Q = V * A$$

$$Q = V * \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$Q = V * 2 * 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right) \rightarrow *1000 \text{ (lt/s)} \rightarrow Q = 2*V$$

Velocidad	Caudal (lt/s)	N° Reynolds	F	H Total
1	2			
2	4			
3	6			
4	8			
5	10			

Tabla 5: Tabla de curva sistema 1.2

Sabiendo que $R_e = 50.800 * V$ esta velocidad la reemplazamos y resolvemos en la tabla:

Velocidad	Caudal (lt/s)	N° Reynolds	F	H Total
1	2	50.800		
2	4	101.600		
3	6	152.400		
4	8	203.200		
5	10	254.000		

Tabla 6: Tabla de curva sistema 1.3

Teniendo los valores de Reynolds y la Rugosidad Relativa podríamos sacar F en el gráfico de Moody:

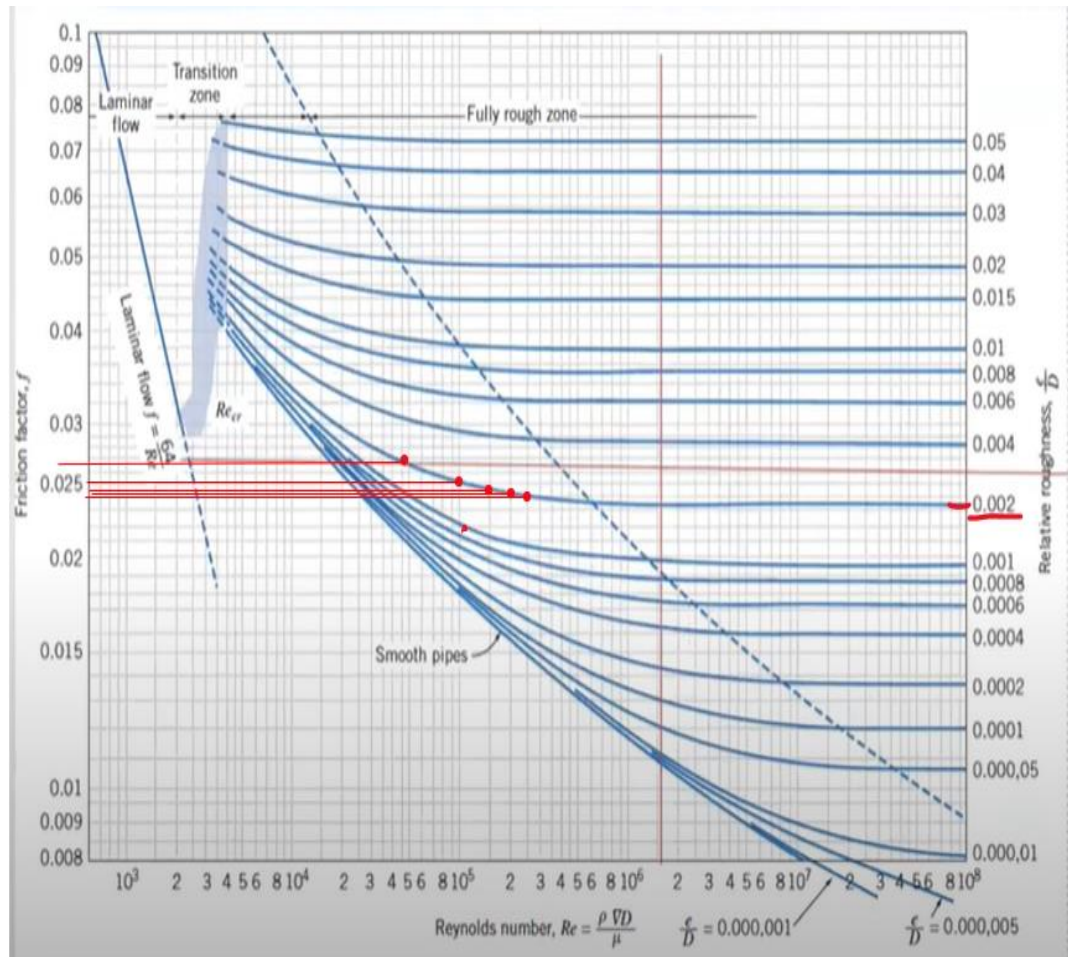


Figura 34: Gráfico de moody.

Velocidad	Caudal (lt/s)	Nº Reynolds	F	H Total
1	2	50.800	0.027	
2	4	101.600	0.025	
3	6	152.400	0.025	
4	8	203.200	0.025	
5	10	254.000	0.024	

Tabla 7: Tabla de curva sistema 1.4

Ya se tiene entonces los datos suficientes para reemplazar el factor de fricción junto a las velocidades y poder sacar las Alturas Totales con la formula ya planteada anteriormente y así plantear los resultados a un gráfico y obtener el punto de operación.

Esta formula

$$H = 17.2 + \frac{V^2}{2 * g} \left(\frac{F * 21}{0.0508} + 19.95 \right)$$

$$H = 17.2 + \frac{1^2}{2 * 9.8} \left(\frac{0.027 * 21}{0.0508} + 19.95 \right) = \mathbf{17.93}$$

$$H = 17.2 + \frac{2^2}{2 * 9.8} \left(\frac{0.025 * 21}{0.0508} + 19.95 \right) = \mathbf{22.66}$$

$$H = 17.2 + \frac{3^2}{2 * 9.8} \left(\frac{0.025 * 21}{0.0508} + 19.95 \right) = \mathbf{30.31}$$

$$H = 17.2 + \frac{4^2}{2 * 9.8} \left(\frac{0.025 * 21}{0.0508} + 19.95 \right) = \mathbf{41.75}$$

$$H = 17.2 + \frac{5^2}{2 * 9.8} \left(\frac{0.024 * 21}{0.0508} + 19.95 \right) = \mathbf{55.54}$$

Velocidad	Caudal (lt/s)	N° Reynold	F	H Total
1	2	50.800	0.027	17.93
2	4	101.600	0.025	22.66
3	6	152.400	0.025	30.31
4	8	203.200	0.025	41.75
5	10	254.000	0.024	55.54

Tabla 8: Tabla de curva sistema final 1.5

Representando las alturas y caudales de la curva del sistema esta quedaría representada de la siguiente manera en el grafico:

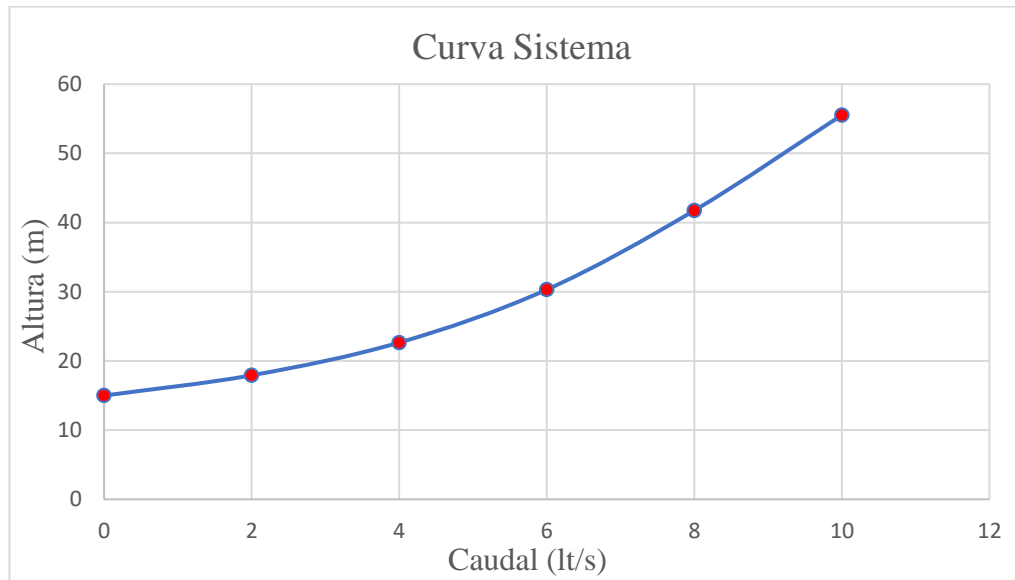


Figura 35: Curva del sistema hidráulico.

b) Seleccionar una bomba para curva del sistema

Teniendo ya la curva del sistema, para obtener un punto de operación se seleccionará una bomba a continuación:

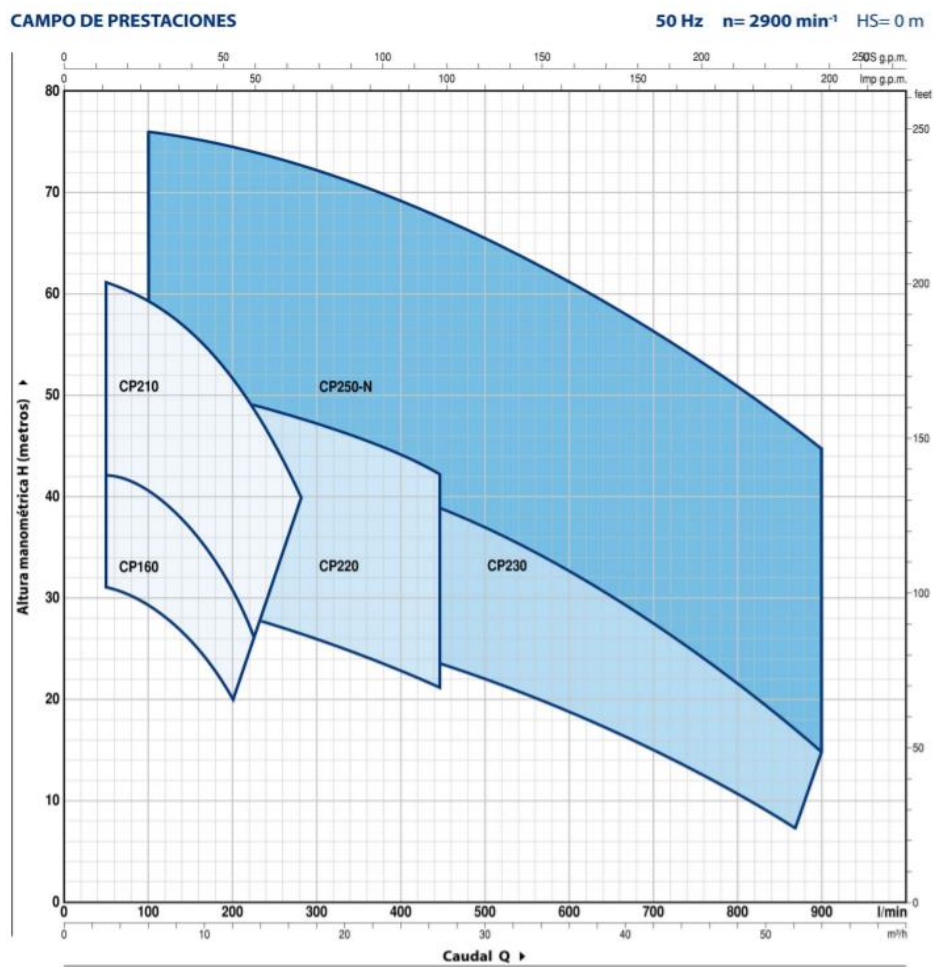


Figura 36: Ábacos de bomba centrífuga.

Observando entonces los ábacos de la bomba elegida para este sistema, se debe seleccionar uno de estos dependiendo de los requisitos de la curva del sistema, por lo que se seleccionara el ábaco “CP230”, el cual según sus caudales y alturas este ábaco daría una intersección en la curva del sistema para que luego de esta intersección se pueda obtener un punto de operación. Obteniendo así los siguientes datos por el fabricante:

CP 230

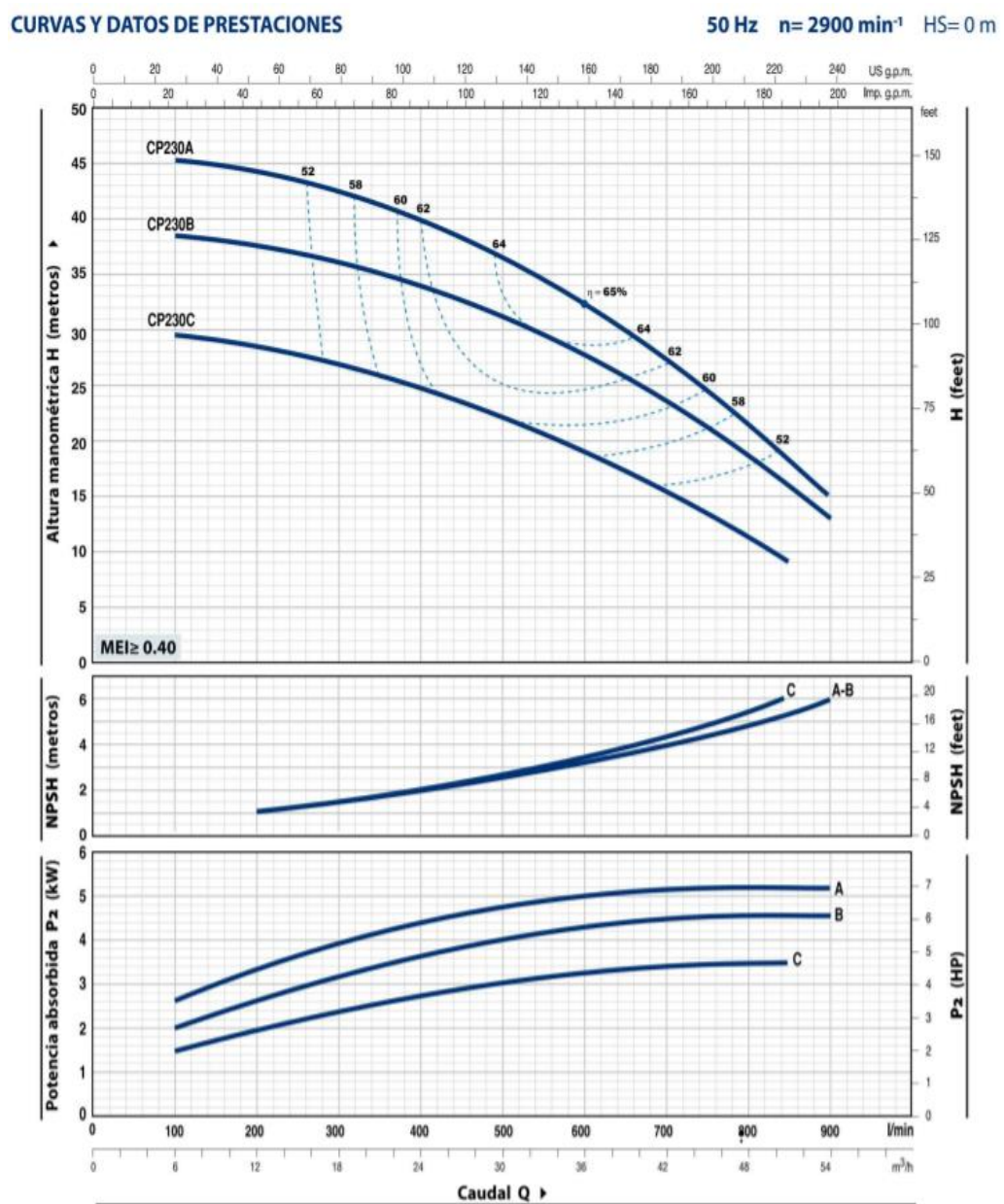


Figura 37: Curvas y npsH de la boba según ábaco seleccionado.

MODELO	POTENCIA (P ₂)			Q	0	6	12	18	24	30	36	42	48	51	54
	kW	HP	▲		l/min	100	200	300	400	500	600	700	800	850	900
CP 230C	3	4			30	29.5	28.5	27	25	22	19.5	15.5	11.5	9	
CP 230B	4	5.5	IE3	H metros	39	38.5	38	36	34	31	28	24	18.5	15	13
CP 230A	5.5	7.5			46	45.5	44.5	42	40	37	32.5	27.5	21.5	18	15

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

Figura 38: Datos específicos de las curvas de la bomba según ábaco seleccionado.

Obtenidos estos datos de la bomba, entonces:

Curva Bomba	
Q(lt/s)	H(m)
0	39
1.6	38.5
3.3	38
5	36
6.6	34
8.3	31
10	28

Tabla 9: Tabla curva de la bomba.

Curva Sistema	
Q(lt/s)	H(m)
0	15
2	17.93
4	22.66
6	30.31
8	41.75
10	55.54

Tabla 10: Tabla de curva sistema para gráfico

Dando como resultado en el grafico:

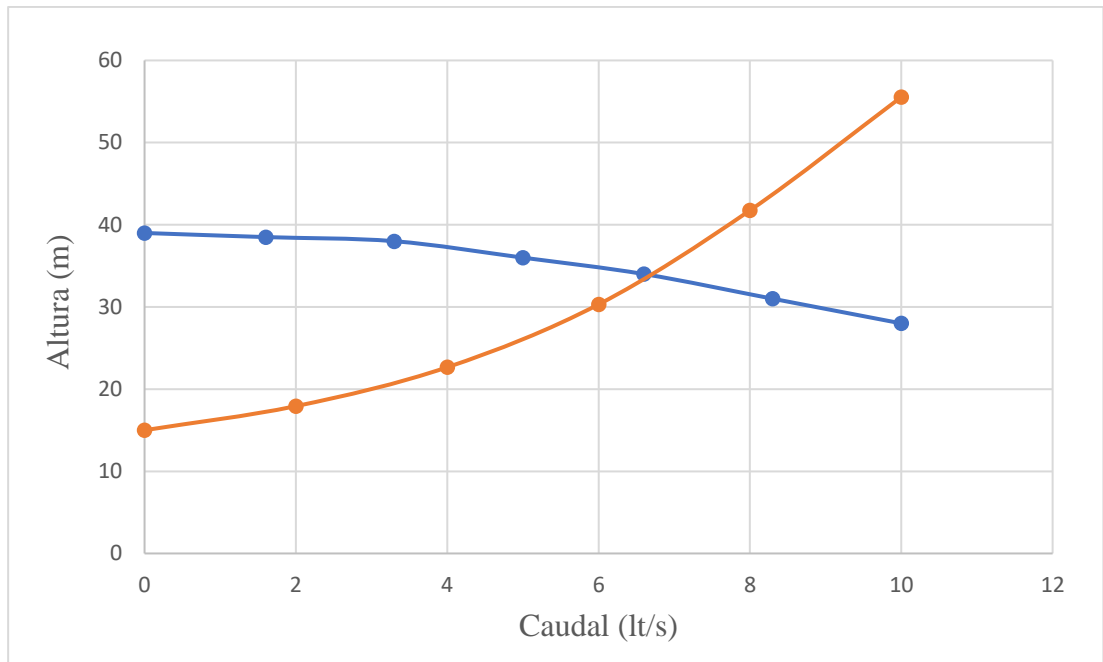


Figura 39: Punto de operación de la bomba.

Obteniendo así el punto de operación con un caudal de 6.4(lt/s) y una altura de 33.5(m)

c) NPSH

Se trata de la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, o, dicho de otra forma, es la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación, el cual representa una de las características más importantes para una bomba.

Si la bomba opera con una aspiración excesiva, la presión a la entrada puede disminuir hasta llegar a alcanzar la tensión de vapor del agua. Se desprenderían entonces burbujas de vapor que, cuando la presión se recupera, explotarían violentamente ocasionando graves daños en los mecanismos de la bomba.

c.1) NPSH Requerido

El valor de NPSHreq. Solamente depende de las características de la bomba y no de las características de la instalación. Es variable para cada bomba, siempre

es positivo y cambia según el caudal y el número de revoluciones del motor. Los valores y las curvas son suministrados por la casa fabricante. El valor de NPSHreq. Informa sobre la capacidad de aspiración de una bomba en un punto determinado de su curva característica de funcionamiento: cuanto menor es el valor de NPSHreq. Mayor es su capacidad de aspiración.

c.2) NPSH Disponible

El valor de NPSHdisp. Depende de las características de la instalación y equivale a la reserva total de presión por encima de la tensión de vapor del fluido, que se encuentra disponible en la zona de la brida de aspiración de la bomba. Se debe calcular. Por lo que este valor resume en un solo concepto todas las características de la instalación que influyen en la altura de aspiración de una bomba.

Este punto va a depender si es que nuestro estanque esta sobre o debajo de la bomba, en el cual en este caso esta debajo por lo que nuestra formula de NPSH seria:

$$NPSH = \frac{P_1 - P_v}{\gamma * g} - H - \Delta_{k(succión)}$$

Donde:

P_1 = Presion atmosférica

P_v = Presión de vapor (20°C)

γ = Densidad del liquido

g = Gravedad (9,8 m/s²)

H = Altura de succión

$\Delta_{k(succión)}$ = Perdidas de carga en la succión

Entonces:

$$NPSH = \frac{101325 - 2.33}{1000 * 9.8} - 0.3 - 13.65 * \frac{V^2}{2 * g}$$

Esta velocidad agregada es la velocidad del fluido con 6.4(lt/s) la cual se calcula de la siguiente manera:

$$V = \frac{6.4/1000}{2 * 10^{-3}} = 3.2 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$NPSH = \frac{101325 - 2.33}{1000 * 9.8} - 0.3 - 13.65 * \frac{3.2^2}{2 * g}$$

$$NPSH = 2.9$$

A este resultado de NPSH se le debe restar un factor de seguridad el cual equivale a 0.5 dando como resultado:

$$NPSH = 2.9 - 0.5 = 2.4$$

Entonces NPSH dice que se debe seleccionar una bomba con un NPSH menor a 2.4, por lo que se verificara el NPSH de la bomba que tiene el sistema y así verificar si tendrá cavitación o no.

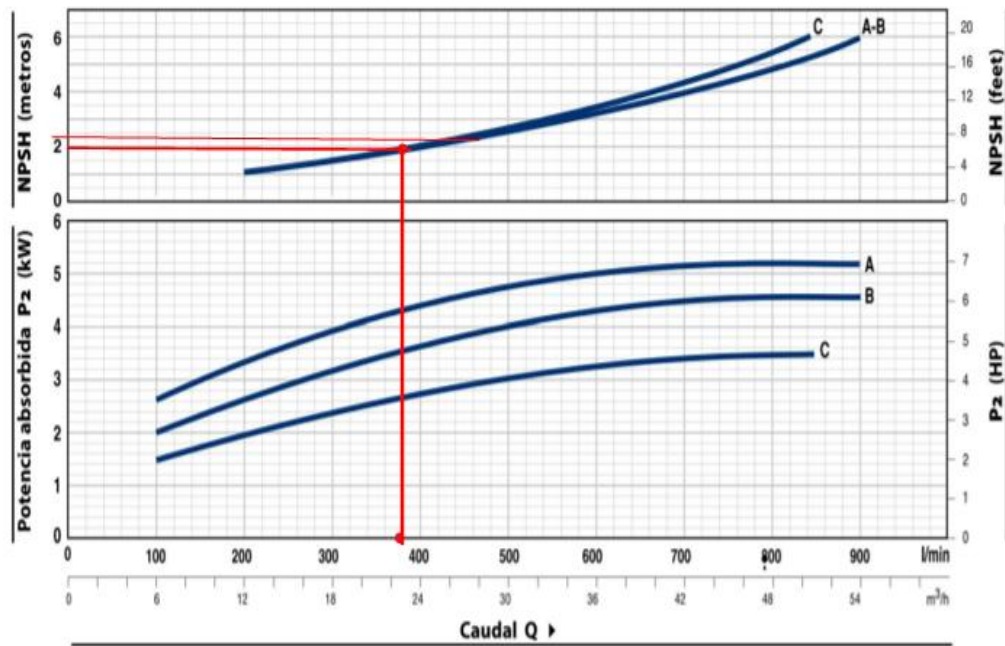


Figura 40: NPSH de la bomba.

La bomba entrega el caudal en (lt/min) siendo así se procede a transformar este, a (lt/s) dando así:

$$\frac{384 \text{ lt/min}}{60\text{s}} = 6.4 \text{ lt/s}$$

Finalmente dando como resultado, se está dentro del margen de NPSH para poder trabajar la bomba en correctas condiciones y así evitar el fenómeno de cavitación.

d) RPM requeridas para un caudal de 10 lt/s

Para calcular las RPM que den 10(lt/s) se requerirá la siguiente ecuación:

$$Q_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) * Q_1$$

Donde:

$$Q_1 = 6,4(\text{lt/s})$$

$$Q_2 = 10(\text{lt/s})$$

$$N_1 = 2900 \text{ RPM}$$

$$N_2 = ?$$

Entonces:

$$\frac{Q_2 * N_1}{Q_1} = N_2$$

$$\frac{10 * 2900}{6.4} = N_2$$

$$\frac{10 * 2900}{6.4} = \mathbf{4531}$$

Conclusión

El presente trabajo abordó la selección óptima de bombas hidráulicas para el taller de turbomáquinas de la Universidad Técnica Federico Santa María. Se realizó un análisis exhaustivo de las diferentes bombas hidráulicas, sus características, y los criterios fundamentales para su selección, basados en la adecuación a sistemas hidráulicos específicos.

La investigación incluyó la clasificación de bombas según su principio de funcionamiento (rotativas, recíprocas, y cinéticas) y una evaluación detallada de sus partes y funcionamiento. El análisis se centró en cómo seleccionar una bomba adecuada considerando factores como la curva del sistema hidráulico, el NPSH (Net Positive Suction Head), y las RPM requeridas para un caudal específico.

Los resultados demostraron que la selección de la bomba adecuada depende críticamente de la curva del sistema hidráulico y las características del fluido. En nuestro caso, la bomba seleccionada (modelo CP230) cumple con los requisitos de altura y caudal necesarios para el sistema hidráulico del taller, con un punto de operación identificado en un caudal de 6.4 litros/segundo y una altura de 33.5 metros. Este hallazgo confirma la eficiencia de la bomba en el sistema propuesto y su capacidad para operar dentro de los límites de NPSH, evitando así el fenómeno de cavitación.

En conclusión, el estudio proporcionó una guía detallada para la selección de bombas hidráulicas adecuadas, destacando la importancia de una evaluación integral de las condiciones del sistema y las características de la bomba. Esto no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que también contribuye al conocimiento y prácticas en el campo de la mecánica e hidráulica industrial.

Bibliografía

- Alvarez, A. N. (s.f.). *Manual de Hidraulica*. Editorial Edgard Blücher Ltda - 7 Edición.
- Falco, E. E. (1989). *Bombas Industriales*. Editorial Técnica Ltda.
- Jiménez, S. d. (4 Diciembre 2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona, Catalunya: Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica.
- Torreira, R. P. (1996). *Bombas, Válvulas y Accesorios*. Editorial Libris.
- Zubicaray, M. V. (1 enero 1972). *Bombas Teoria, Diseño y Aplicaciones*. Limusa - Wiley.
- 3 tipos de impulsores de las bombas centrífugas*. (2018, 5 de junio). CÍNDICE| CÍNDICE; CÍNDICE. <https://www.cindex.com.mx/bombas/sabes-que-son-las-bombas-centrifugas-y-sus-tipos-de-impulsores/>
- SKF*. (s/f). Skf.com. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <https://www.skf.com/cl/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics>
- Bombas hidráulicas: definición y tipos. (2022, 28 de diciembre). *Debem*. <https://www.debem.com/es/tipos-de-bombas/>
- Iprecom. (2019, 26 de septiembre). Tipos de bombas industriales. *Iprecom*. [https://www.iprecom.com/tipos-de-bombas-industriales/Curva de la bomba explicación](https://www.iprecom.com/tipos-de-bombas-industriales/Curva%20de%20la%20bomba%20explicaci%C3%B3n).
- Vista de Procedimiento para evaluar y seleccionar bombas centrífugas*. (s/f). Edu.cu. 1-2 de 2004, de <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/131/134>
- UPV.(s/fa). Upv.Es. 8 de octubre de 2019, Pérez Sánchez, M.; López Jiménez, PA. <https://www.upv.es/visor/media/a5fe5710-1319-11e9-a450-cd0c800984c1/c>
- UPV.(s/fb). Upv.Es.8 de octubre de 2019, Pérez Sánchez, M.; López Jiménez, PA. <https://www.upv.es/visor/media/ad6b47b0-1319-11e9-a450-cd0c800984c1/c>
- UPV. (s/fa). Upv.Es. 8 de octubre de 2019, Pérez Sánchez, M.; López Jiménez, PA. <https://www.upv.es/visor/media/b46970f0-1319-11e9-a450-cd0c800984c1/c>
- UPV. (s/fb). Upv.Es. 8 de octubre de 2019, Pérez Sánchez, M.; López Jiménez, PA. <https://www.upv.es/visor/media/baaf46b0-1319-11e9-a450-cd0c800984c1/c>

