



# DTIE 4.02

CIRCUITOS HIDRÁULICOS  
Y SELECCIÓN DE BOMBAS

PATROCINA



EDITA



---

# **DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN DTIE**

---

**DTIE 4.02: Circuitos hidráulicos y selección de bombas**

**Autor:**

Pedro G. Vicente Quiles.

Doctor Ingeniero Industrial. Profesor Titular de Universidad del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Miembro del Comité Técnico de ATECYR y del COA.

**Revisor:**

Claus-Christian Keller.

Doctor Ingeniero Químico. Director Técnico de Wilo Ibérica, S.A., socio protector de Atecyr.

**RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR**

**Presidente:** JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

**Vicepresidente:** RICARDO GARCÍA SAN JOSÉ

**Vocales:** Agustín Maillo Pérez  
Alberto Viti Corsi  
Alejandro Cabetas Hernández  
Antonio García Laespada  
Antonio Paniego Gomez  
Antonio Vegas Casado  
Arcadio García Lastra  
Iñaki Morcillo Irastorza  
Francisco Javier Rey Martínez  
José Antonio Rodríguez Tarodo  
Jose Fernandez Seara  
Jose Luis Esteban  
Jose Manuel Cejudo  
José María Cano Marcos  
Juan Travesí Cabetas  
Manuel Sanchez Marin  
Miguel Ángel Navas Martín  
Paulino Pastor Pérez  
Pedro Torrero Gras  
Pedro Vicente Quiles  
Rafael Úrculo Aramburu  
Ramón Velázquez Vila  
Victor M. Soto Francés

© ATECYR

**Edita:** ATECYR

Navaleno, 9  
28033 Madrid

**Producción y realización:**

ATECYR

**Maquetación e impresión:**

GRÁFICAS ELISA, S.L.

**ISBN:** 978-84-95010-39-1

**Dep. Legal:** M-18370-2011

\* Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.

## PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.700 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines:

- El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas o anexas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a dichas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.
- Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; con el Ministerio de la Vivienda, con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la normativa sobre la prevención de la Legionelosis. Colabora con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; con otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA); con EUROVENT CERTIFICATION COMPANY; con el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales, AEDICI (Asociación Española de Ingenierías e Ingenieros consultores) y el ASHRAE Spain Chapter.

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que ha sido aprobado y publicado el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y de ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de España, Portugal, Francia e Italia. La primera edición tuvo lugar en Lisboa en el año 2004, la segunda edición en España en 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia en abril de 2006, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007 y la quinta ha tenido lugar en Lisboa, Portugal en abril de 2009. La siguiente edición se celebrará en Madrid, el 2 y 3 de Junio de 2011.

En sus más de treinta y cinco años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

ATECYR cuenta con un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de la actividad y como instrumentos que permiten la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, marcan las tendencias y la forma de hacer las cosas. Dicho Comité es el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

Uno de los cometidos del Comité Técnico de ATECYR, en el que viene trabajando desde hace años, es la elaboración de una extensa documentación técnica y la divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de la climatización y la refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE) nace como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre el tema en cuestión para desarrollar su labor.

Se trata de ofrecer al técnico una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Esta colección de documentos pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación al patrocinador de este DTIE, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

D. Juan José Quixano Burgos  
Presidente de ATECYR

# DTIE - DOCUMENTOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES EN LA EDIFICACIÓN

---

## **SERIE 1: Instalaciones sanitarias**

- \*1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- \*1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación
- \*1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua

## **SERIE 2: Condiciones de diseño**

- \*2.01 Calidad del ambiente térmico
- \*2.02 Calidad de aire interior
- \*2.03 Acústica en instalaciones de aire

## **SERIE 3: Psicrometría**

- \*3.01 Psicrometría

## **SERIE 4: Tuberías**

- \*4 01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)
- \*4 02 Circuitos hidráulicos y selección de bombas

## **SERIE 5: Conductos**

- \*5.01 Cálculo de conductos

## **SERIE 6: Combustible**

- \*6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

## **SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo**

- \*7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema
- \*7.03 Entrada de datos a los programas LIDER y Calener VyP
- \*7.04 Entrada de datos al programa CALENER GT

## **SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición**

- \*8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- \*8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. (Edición revisada)
- \*8.04 Energía Solar Térmica. Casos Prácticos

## **SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire**

- \*9.01 Tipos de sistemas
- \*9.02 Relación entre el edificio y el sistema de climatización
- \*9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- \*9.04 Sistema de suelo radiante
- \*9.05 Sistemas de climatización

## **SERIE 10: Sistemas de calefacción**

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- \*10.03 Calderas individuales
- \*10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante
- \*10.05 Principios básicos de las calderas de condensación

## **SERIE 11: Control**

- 11.01 Esquemas de control
- \*11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización

## **\*SERIE 12: Aislamiento térmico**

## **SERIE 13: Difusión de aire**

## **SERIE 14: Acumulación de energía térmica**

## **SERIE 15: Salas de máquinas**

## **SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento**

## **SERIE 17: Varios**

- 17.01 Análisis económico de sistemas
- \*17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero

\* Editadas

<b>1. Introducción. Conceptos generales</b> .....	9
1.1. Balance energético en bombas. Rendimiento.....	9
1.2. Elementos constructivos de las bombas.....	11
1.3. Sistemas de bombeo.....	12
1.3.1. Sistemas abiertos.....	12
1.3.2. Sistemas cerrados.....	13
1.4. Cavitación.....	14
1.5. Curvas características de funcionamiento.....	15
1.6. Punto de funcionamiento.....	18
1.7. Punto de funcionamiento óptimo.....	20
1.8. Análisis dimensional.....	22
<b>2. Tipos de bombas</b> .....	25
2.1. Bombas de rotor húmedo.....	25
2.1.1. Bombas convencionales pequeñas (máx 2850 rev/min).....	26
2.1.2. Bombas convencionales grandes (máx 2850 rev/min).....	26
2.1.3. Bombas de baja velocidad (máx 1400 rev/min).....	27
2.1.4. Bombas convencionales para recirculación de ACS.....	28
2.1.5. Bombas de imán permanente para calefacción.....	29
2.1.6. Bombas de imán permanente para recirculación de ACS.....	30
2.2. Bombas de rotor seco.....	31
2.3. Conexión de las bombas en serie.....	33
2.4. Conexión de las bombas en paralelo. Bombas dobles.....	34
<b>3. Regulación</b> .....	35
3.1. Circuitos a caudal constante.....	35
3.2. Circuitos a caudal variable.....	36
3.3. Regulación del caudal mediante válvula en serie.....	37
3.4. Regulación por válvula en by-pass.....	38
3.5. Regulación mediante variación de frecuencia.....	39
3.6. Presión diferencial constante.....	41
3.7. Presión diferencial variable.....	42
3.8. Cambio de la bomba o del rodete.....	42
<b>4. Instalaciones de calefacción</b> .....	43
4.1. Instalaciones domésticas de menos de 35 KW.....	43
4.2. Instalaciones domésticas grandes (35 < p < 70 KW).....	47
4.2.1. Selección de la bomba de calefacción.....	48
4.2.2. Selección de la bomba de producción de ACS en interacumulador.....	51
4.2.3. Análisis de las presiones del circuito.....	53
4.3. Instalación para terciario de pequeño tamaño (p < 70 KW).....	53
4.3.1. Selección de la bomba de la instalación de calefacción.....	54
4.3.2. Selección de la bomba de apoyo a la producción de ACS.....	56
4.4. Instalaciones de mediano y gran terciario (p > 70 KW).....	57
4.4.1. Circuito primario a caudal constante.....	58
4.4.2. Circuito primario a caudal variable.....	61
4.4.3. Circuitos secundarios a caudal constante.....	63
4.4.4. Circuitos secundarios a caudal variable.....	68
<b>5. Instalaciones de climatización</b> .....	71
5.1. Instalaciones pequeñas (p < 70 KW).....	71
5.2. Instalaciones de mediano y gran terciario (p > 70 KW).....	74
5.2.1. Circuito primario a caudal constante.....	75
5.2.2. Circuito secundario a caudal constante.....	76
5.2.3. Circuitos secundarios a caudal variable.....	80
5.3. Circuitos con torres de refrigeración.....	85

5.3.1. Selección de bomba para recirculación en torre de tipo cerrado .....	86
5.3.2. Selección de bomba para recirculación en torre de tipo abierto .....	87
<b>6. Instalaciones solares térmicas .....</b>	<b>91</b>
6.1. Primario de instalación de pequeño tamaño ( $s < 50 \text{ m}^2$ ) .....	91
6.2. Primario de instalación de mediano y gran tamaño ( $s > 50 \text{ m}^2$ ) .....	96
6.2.1. Selección de bomba del circuito primario .....	98
6.2.2. Selección de bomba del circuito secundario .....	100
6.3. Distribuciones de secundario en edificio de viviendas.....	103
6.3.1. Esquema de distribución con intercambiadores en viviendas .....	103
6.3.2. Selección de bomba en distribución con interacumuladores en viviendas .....	106
<b>7. Circuitos de recirculación de ACS .....</b>	<b>109</b>
7.1. Recirculación de ACS en vivienda .....	110
7.2. Recirculación de ACS en edificio del sector terciario .....	114
<b>8. Grupos de abastecimiento de agua .....</b>	<b>119</b>
8.1. Instalaciones domésticas .....	120
8.2. Instalación de suministro de presión para terciario .....	125
8.2.1. Grupo de bombas a caudal constante .....	125
8.2.2. Grupo de bombas a caudal variable .....	128
8.2.3. Grupo de bombas a caudal variable con presión de red.....	129
<b>9. Consumos energéticos en bombas .....</b>	<b>121</b>
9.1. Medida del rendimiento de bombas .....	121
9.1.1. Ejemplo de medida de la eficiencia de una bomba .....	132
9.2. Medida de la eficiencia de un circuito hidráulico.....	134
9.2.1. Análisis de circuito secundario con válvulas de 2 vías .....	134
9.2.2. Análisis de circuito secundario con válvulas de 3 vías .....	137
9.3. Cálculo de las emisiones de $\text{CO}_2$ .....	139
9.3.1. Emisiones de $\text{CO}_2$ de circuito a caudal constante. ....	139
9.3.2. Emisiones de $\text{CO}_2$ de circuito a caudal variable.....	139
<b>10. Anexos .....</b>	<b>141</b>
10.1. Anexo 1. Rendimiento mínimo de los motores de las bombas .....	141
10.2. Anexo 2. Eficiencia de las bombas de rotor húmedo .....	142
10.3. Anexo 3. Diámetros de tuberías .....	145
10.3.1. Tuberías de acero galvanizado y cobre .....	145
10.3.2. Tuberías de materiales termoplásticos .....	145
10.4. Anexo 4. Pérdidas de presión en tuberías .....	147
10.4.1. Pérdidas de presión en accesorios .....	148
10.4.2. Criterios para la selección de los diámetros de tuberías .....	149
10.4.3. Determinación de la pérdida de presión mediante ábacos .....	149
<b>11. Nomenclatura .....</b>	<b>151</b>

# 1. INTRODUCCIÓN. CONCEPTOS GENERALES

Las bombas se emplean en una gran cantidad de aplicaciones en distintas instalaciones de los edificios:

- Bombas circuladoras en instalaciones de calefacción
- Bombas circuladoras para el agua de refrigeración en instalaciones de climatización aire-agua y agua-agua
- Bombas de torres de refrigeración
- Bombas circuladoras de ACS para mantener el agua caliente disponible en cada punto de consumo
- Bombas circuladoras para primarios y secundarios de las instalaciones solares térmicas
- Grupos de bombeo a presión, que se utilizan siempre que la presión del agua de red no sea suficiente
- Grupos de bombeo a presión en instalaciones contra incendios
- Bombas de fuentes o acuarios
- Bombas para la eliminación de aguas residuales (grises o negras)

## 1.1. BALANCE ENERGÉTICO EN BOMBAS. RENDIMIENTO.

Las bombas son equipos mecánicos capaces de transformar la energía mecánica que proporciona un motor eléctrico en energía mecánica asociada al fluido: cinética, presión y potencial.

$$\text{Energía de presión:} \quad e_{PR} = p_p / \rho$$

$$\text{Energía potencial:} \quad e_p = g z_p$$

$$\text{Energía cinética:} \quad e_c = v_p^2 / 2$$

Siendo  $p_p$  la presión en el punto analizado en Pa,  $z_p$  la altura respecto a una cota de referencia en m,  $v_p$  la velocidad medida del fluido en m/s,  $\rho$  la densidad del fluido en kg/m<sup>3</sup> y  $g$  la aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

La energía mecánica específica del flujo en un punto  $p$  viene dada por:

$$\omega_{esp} = g H_p = \frac{p_p}{\rho} + g z_p + \frac{v_p^2}{2} \quad [\text{m}^2/\text{s}^2]$$

Obsérvese que la potencia específica tiene unidades de potencia  $P$  en W por gasto másico de fluido  $\dot{m}$  en kg/s. A continuación se muestra la equivalencia de unidades de W/(kg/s) a m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>.

$$\omega_{esp} = \frac{P}{\dot{m}} = \frac{W}{\text{kg/s}} = \frac{\text{J/s}}{\text{kg/s}} = \frac{\text{Pa} \cdot \text{m/s}}{\text{kg/s}} = \frac{\text{N/m}^2 \cdot \text{m/s}}{\text{kg/s}} = \frac{(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)/\text{m}^2 \cdot \text{m/s}}{\text{kg/s}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Las bombas producen un incremento de la energía mecánica entre los puntos de entrada y salida de la misma:

$$\Delta\omega_{esp} = g H_m = \left[ \frac{p}{\rho} + g z + \frac{v^2}{2} \right]_E^S \quad [\text{m}^2/\text{s}^2]$$

Generalmente se emplea el término de altura manométrica  $H_m$  para caracterizar el comportamiento de las bombas.

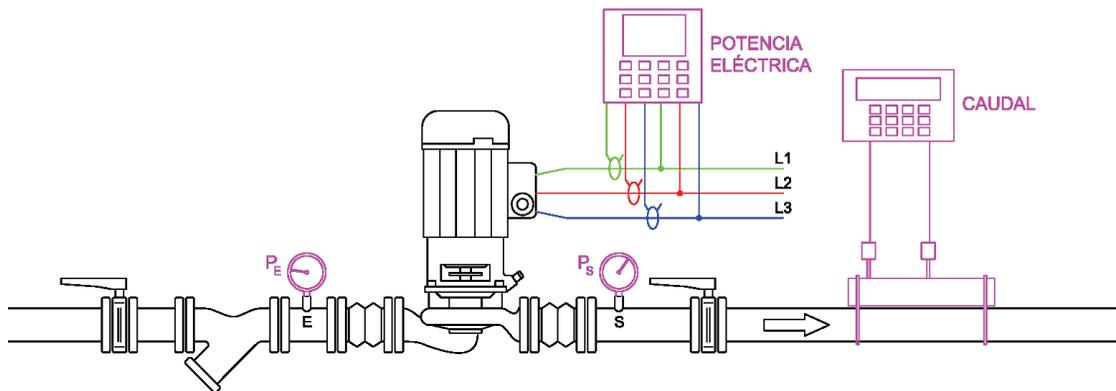


Figura 1 Esquema para la medida experimental del funcionamiento de una bomba.

La potencia útil en W que comunica la bomba al fluido viene dada por:

$$P_U = \dot{m} \Delta\omega_{esp} = \rho g \dot{V} H_m = \dot{V} \left[ p + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 \right]_E^S \quad [\text{W}]$$

Dado que las secciones de las tuberías de aspiración e impulsión suelen ser iguales (o similares) y que los puntos de entrada y salida están a una cota similar, la altura manométrica suministrada por la bomba se suele calcular en términos de incremento de presión estática.

$$g H_m = \left[ \frac{p}{\rho} \right]_E^S \Rightarrow H_m = \left[ \frac{p}{\rho g} \right]_E^S \Rightarrow H_m = \frac{p_S - p_E}{\rho g} \quad [\text{mca}]$$

La energía útil por unidad de tiempo (potencia útil) proporcionada por la bomba al flujo viene dada por:

$$P_U = \dot{V} \Delta p = \dot{V} (p_S - p_E) \quad [\text{W}]$$

Siendo  $\dot{V}$  el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$  y  $\Delta p$  la diferencia entre la presión a la salida  $p_S$  y la presión a la entrada  $p_E$  en Pa.

El rendimiento de la bomba se define como la relación entre la potencia útil suministrada por la bomba al flujo y la potencia eléctrica consumida.

$$\eta_B = \frac{P_U}{P_E} \quad [-]$$

En el caso de algunas bombas que se suministran de forma independiente al motor eléctrico, el rendimiento proporcionado suele ser la relación entre la potencia útil suministrada por la bomba al flujo y la potencia mecánica en el eje.

Las medidas necesarias para caracterizar el comportamiento de una bomba vienen representadas en la Figura 1.

**Ejemplo 1.1:** Se va a determinar el rendimiento de la bomba de la Figura 1 cuando impulsa un caudal de 54 m<sup>3</sup>/h, siendo la presión en la aspiración de 1,2 bar y en la impulsión de 2,5 bar y la potencia eléctrica absorbida de 4,32 kW.

Caudal  $\dot{V} = 54/3600 = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$

Incremento de presión:  $\Delta p = (2,5 - 1,2) \times 10^5 = 130000 \text{ Pa}$

Altura manométrica:  $H_m = \Delta p / \rho g = 130000 / 1000 / 9,81 = 13,25 \text{ mca}$

Potencia útil:  $P_U = \dot{V} \Delta p = 0,015 \times 130000 = 1950 \text{ W}; 1,95 \text{ kW}$

Rendimiento:  $\eta_B = P_U / P_E = 1,95 / 4,32 = 45,1 \%$

En este ejemplo se ha supuesto que los diámetros de las tuberías de impulsión y retorno son iguales (o similares) y que los dos manómetros se encuentran a una altura similar (esta simplificación es adecuada en todos los casos analizados en este documento). El rendimiento de las bombas empleadas en edificios varía desde un 5% en bombas pequeñas hasta un 70% en las bombas de mayor tamaño.

## 1.2. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS BOMBAS

Las bombas objeto de este documento son máquinas rotodinámicas o turbomáquinas, las cuales tienen dos partes principales: la parte móvil o rotor, y la parte fija o cuerpo de la bomba que incluye la voluta. La

Figura 2 muestra de forma esquemática las partes de una bomba centrífuga.

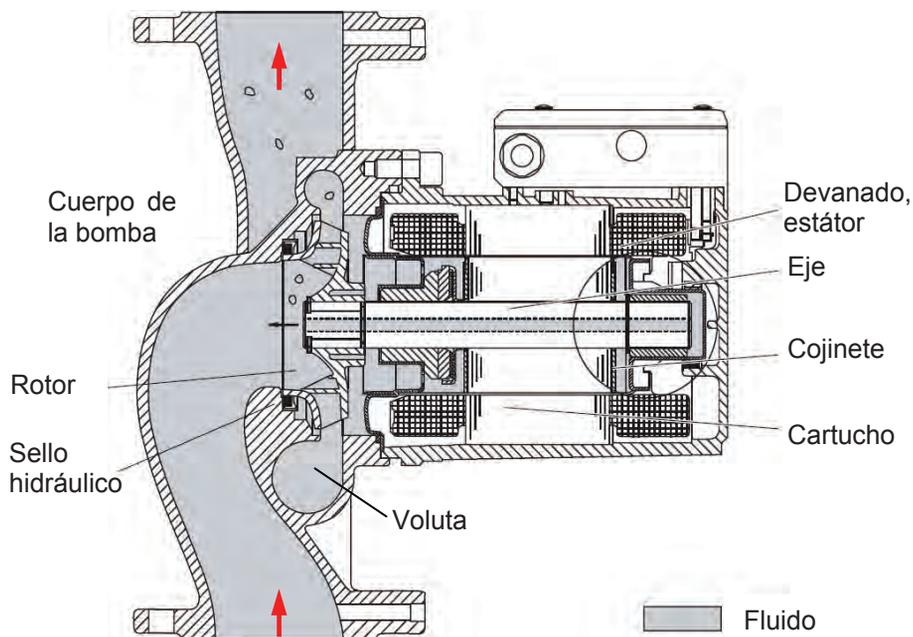


Figura 2 Elementos principales de las bombas.