

BOMBAS HIDRÁULICAS ROTODINÁMICAS
TEORÍA Y APLICACIONES

RAMIRO MARBELLO PÉREZ

Profesor Asociado

I. C., I. S.

M. Sc. I. A., M. Sc. G y U. E. A.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE MINAS

MEDELLÍN, 2007

DEDICATORIA

A mis hijas, a mis padres y hermanos, a Flor y a Alejandro.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus sinceros agradecimientos a la Facultad de Minas y al Comité del Proyecto Editorial de la misma, por su gestión y apoyo, para que este trabajo y el de muchos profesores hayan visto la luz de su razón de ser: un aporte a la enseñanza, y una pequeña contribución a la solución de problemas específicos del país.

Al mismo tiempo, agradece altamente a la Profesora María Victoria Vélez Otálvaro, Directora de la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, por su respaldo y estímulo brindados, al objeto de que este libro fuera una realidad.

Especial sentimiento de gratitud tendrá el autor para con la Ingeniera Civil, Liliana María Tamayo Acevedo, egresada de la Facultad de Minas, por su gran dedicación, esfuerzo, tiempo, sugerencias y eficiente trabajo, impuestos en la digitalización de textos, la elaboración de tablas y figuras, la organización y la impresión de la presente obra.

A mis colegas, compañeros y amigos profesores de la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, por permitir al autor ser parte de su excelso grupo, y por su lealtad y muestras de afecto.

A mis estudiantes, por ser el objetivo fundamental y la motivación permanente de la esencia de la labor docente del autor.

RESUMEN

El campo de las bombas ha sido, por diversas razones, un tema esquivo para muchos ingenieros. Existe una abundante información acerca de este tema, tal vez dispersa o quizás tratadas con una metodología no adaptada a estudios de formación en pregrado.

El objetivo de esta obra ha sido la compilación, adaptación y aplicación de los principios teóricos fundamentales que rigen el comportamiento de las máquinas hidráulicas, en general, con énfasis sobre las bombas hidráulicas rotodinámicas, particularmente en un tipo de éstas: las bombas centrífugas.

Ubicadas las máquinas hidráulicas dentro del gran contexto de las máquinas, se estudian sus características importantes y se clasifican, para, luego, poner el acento en el tema central y específico: Bombas Rotodinámicas (Centrífugas).

Con este interés particular, las Bombas Rotodinámicas se definen y clasifican ampliamente, se analizan sus elementos constitutivos y su instalación, y se deduce la ecuación fundamental (ecuación de Euler), la cual constituye su principio de funcionamiento.

Posteriormente, como en cualquier otro mecanismo de conversión de energía mecánica, se estudian las pérdidas inherentes a su funcionamiento, las potencias y los rendimientos de este tipo de máquinas hidráulicas.

Al objeto de conocer su desempeño en su real aplicación, es por lo que se realizan ensayos en bancos de pruebas de bombas, sobre modelos de bombas comerciales que construyen los fabricantes de éstas. La forma de hacerlo en el laboratorio y la manera de tratar y cristalizar sus resultados, por medio de curvas características, se abordan también con suficiente claridad en este trabajo.

Para destacar en esta obra, la manera analítica de obtener, por medio de un ajuste lineal por cuadrados mínimos, las ecuaciones de las curvas características H vs. Q y η vs. Q , a partir

de tres, cinco o más puntos (H_i , Q_i), extraídos de curvas suministradas por fabricantes. Tales ecuaciones se requieren en la implementación de modelos y programas computacionales, de obligada y vastísima aplicación en materia de diseño óptimo de sistemas de abastecimiento y redes distribución de agua.

Particular énfasis se hace sobre el fenómeno de cavitación en bombas rotodinámicas, sus efectos adversos y la forma de prevenirlo.

Contemplando la posibilidad de cambiar el rotor de una bomba o de hacerlo girar a distintas velocidades, se deducen las leyes de similitud en bombas, las que, a su vez, sirven para predecir el comportamiento de prototipos de las mismas, cuando operan en diferentes escenarios de trabajo.

Considerados temas de gran utilidad práctica, es por lo que en este libro, también, se han abordado adecuadamente los siguientes tópicos: funcionamiento de las bombas, asociación de bombas en serie y en paralelo, cebado de las bombas, selección e instalación de bombas, y recomendaciones para el buen funcionamiento de las instalaciones.

Finalmente, se han seleccionado 23 problemas tipos, cuyas soluciones se incluyen en un capítulo aparte, con el objeto de ilustrar la aplicación de los conceptos teóricos desarrollados previamente, e intentando cubrir una amplia gama de situaciones reales.

INTRODUCCIÓN

Día tras día, se acrecientan las necesidades de consumo de agua, en virtud de la inevitable expansión de los distintos renglones de esta compleja sociedad.

Además de la gran demanda de agua potable, para fines domésticos, se requieren grandes volúmenes de agua para múltiples usos. La industria es una gran consumidora de este precioso líquido (por ejemplo, las industrias de textiles, papel, bebidas, curtiembres, alimentos, químico-farmacéutica, petroquímica, cosmetología, pinturas, destilerías, minería, construcción, refrigeración, calefacción, etc.).

Los proyectos de irrigación constituyen otro gran consumidor de agua, toda vez que su finalidad es la de suplir las deficiencias naturales de los suelos cultivables, para abastecer la creciente demanda de alimentos.

La conducción de agua y otros líquidos puede darse a través de tuberías y de canales abiertos, aprovechando la fuerza gravitacional. Sin embargo, condiciones topográficas adversas o el cumplimiento de presiones mínimas exigidas en redes de distribución o de suministro, imponen la necesidad de implementar algún sistema de bombeo.

Los sistemas de abastecimiento de agua para consumo doméstico e industrial, los sistemas de disposición de aguas residuales, el transporte de combustibles a través de oleoductos, y la conducción de toda suerte de líquidos en procesos industriales, constituyen el vasto campo de aplicación permanente de las bombas hidráulicas.

El presente trabajo pretende suministrar los principios básicos sobre los cuales se fundamenta el comportamiento de las bombas, consideradas éstas como alma y nervio de toda instalación y sistema de bombeo.

Intencionalmente, se ha dejado, para una nueva edición de esta obra, otros tópicos de interés en esta materia, tales como la aplicación de las leyes de semejanza de bombas en el

recorte del rodete de las mismas, la resolución gráfica y analítica de sistemas complejos, la estabilidad del funcionamiento de una bomba, el arranque de bombas, y normatividad y ensayos de recepción de bombas.

No obstante lo inmediatamente anterior, el conocimiento de cuanto se ha expuesto en este libro constituye un modesto aporte académico-docente, para resolver la mayor parte de cuestiones que puedan plantearse, en relación con sistemas de bombeo en proyectos de aprovechamiento, conducción y distribución de agua. Por ello, sin duda, será material de consulta por parte de profesionales y técnicos involucrados en este tema, y de profesores y estudiantes de las carreras de ingeniería de minas, civil, agrícola, química, sanitaria, mecánica, y de petróleos, contribuyendo, así, en la solución de problemas específicos del país.

Bienvenidos serán, entonces, comentarios, críticas, correcciones, precisiones y sugerencias, que el presente trabajo pueda generar entre sus lectores, sobretodo si conducen a su mejoramiento, y si vienen acompañados de la manera de lograrlo, por lo cual el autor agradece anticipadamente su oportuna manifestación.