

# Índice general

<b>Resumen</b>	1
<b>1. Introducción</b>	1
1.1. Motivación.	1
1.2. Fundamentos de la mecánica de fluidos	1
1.2.1. Teorema de transporte de Reynolds	1
1.2.2. Conservación de la masa	2
1.2.3. Ecuación del momento	2
1.2.4. Fluido newtoniano	3
1.2.5. Ecuación de N-S en un sistema rotante	3
1.2.6. Adimensionalización de las ecuaciones	4
1.2.7. Fluido no viscoso	5
1.3. Disposición de un sistema hidráulico	5
1.3.1. Pérdidas de carga en una cañería	6
1.3.2. Curva de carga del sistema hidráulico	7
1.3.3. Curva de una bomba	8
1.3.4. Acoplamiento de una bomba a un sistema hidráulico	9
<b>2. Modelo de las bombas ideales</b>	<b>11</b>
2.1. Generalidades de una bomba centrífuga	11
2.1.1. El impulsor	11
2.1.2. El difusor	14
2.2. Triangulo de velocidades	14
2.3. Factor de deslizamiento	15
2.4. Modelo unidimensional	16
2.4.1. Punto de diseño de una bomba ideal	17
2.4.2. Caudal de diseño	17
2.4.3. Altura de diseño	18
2.5. Variables adimensionales en el funcionamiento de las bombas	19
2.6. Reglas de semejanza	21
2.7. Velocidad específica	21
<b>3. Extensiones del modelo unidimensional y geometrías de la bomba</b>	<b>25</b>
3.1. Rotapúa	25
3.2. Curva de carga	26
3.3. Carga del álabe	26

3.3.1. Recirculaciones . . . . .	27
3.4. Geometría de los álabes . . . . .	28
3.4.1. Impulsor bidimensional . . . . .	28
3.4.2. Impulsor con entrada axial . . . . .	29
3.4.3. Curvatura del álabe . . . . .	31
3.5. Distribución de velocidades en el sentido álabe-álabe . . . . .	32
3.6. Líneas de corriente sobre lados de presión . . . . .	33
3.7. Geometría del difusor . . . . .	34
<b>4. La bomba real</b>	<b>37</b>
4.1. Efectos mas importantes de la bomba real . . . . .	37
4.1.1. Espesor de los álabes . . . . .	37
4.1.2. Concepto de capa límite . . . . .	37
4.1.3. La capa límite en los canales del impulsor . . . . .	38
4.1.4. Pérdidas de carga en un canal . . . . .	39
4.1.5. Ancho del canal . . . . .	40
4.1.6. Pérdidas de potencia en el difusor . . . . .	40
4.1.7. Caudal de recirculación . . . . .	41
4.1.8. Pérdidas por fricción con los discos . . . . .	42
4.2. Rendimiento de la bomba . . . . .	42
4.3. Modelo de la bomba real . . . . .	43
4.4. Otros efectos menos importantes . . . . .	45
4.4.1. Pérdidas por mezclados . . . . .	45
4.4.2. Pérdidas por fricción de los sellos . . . . .	45
4.5. Cavitación . . . . .	46
4.6. Comparación del modelo con una medición . . . . .	47
<b>5. Resultados del modelo y propuesta de una metodología de diseño</b>	<b>49</b>
5.1. Espacio de parámetros . . . . .	49
5.2. Resultados . . . . .	50
5.2.1. Relaciones encontradas para bombas de buen rendimiento . . . . .	51
5.3. Propuesta de una metodología de diseño . . . . .	54
5.4. Ejemplo de diseño de una bomba . . . . .	57
<b>6. Conclusiones</b>	<b>61</b>
<b>A. Modelo de bombas ideales en forma adimensional</b>	<b>63</b>
A. 1. Parámetros adimensionales . . . . .	64
A. 2. El impulsor simétrico en voladizo . . . . .	65
A. 3. Punto de trabajo . . . . .	66
A.3.1. $\kappa$ máximo . . . . .	66
A.4. Resultados . . . . .	67
<b>B. Medición del perfil de presión en el sentido álabe-álabe</b>	<b>69</b>

<b>C. Simulación de un canal con elementos finitos</b>	<b>73</b>
C.1. Flujo turbulento . . . . .	73
C.2. Modelo $k - \epsilon$ . . . . .	74
C.3. Simulación de un canal . . . . .	74
C.4. Resultados . . . . .	75
<b>Agradecimientos</b>	<b>81</b>

# Introducción

## 1. Motivación

Las bombas centrífugas son, por mucho, las turbomáquinas más utilizadas y más caras en el transporte de fluidos. Durante varias décadas se han diseñado bombas para potencias de bombas que van desde unos pocos vatios hasta varios megawatts. Sin embargo, debido de las limitaciones de una gran medida de una extensa información disponible, el arte del diseñador y de la experiencia acumulada por los fabricantes.

Hasta hace algunos años la eficiencia de las bombas era determinada por métodos empíricos lo que llevaba a procedimientos de prueba y error. Esto implicaba grandes costos, largos ciclos de diseño y potenciales ciclos de tiempo de diseño. Gracias a nuevas tecnologías que se disponen hoy en día se pueden realizar diseños más eficientes, en los que se ahorra tiempo y con mínimas pruebas.

Al momento de diseñar una bomba se debe conocer el estado que tienen las distintas partes geométricas y determinar en el funcionamiento y la eficiencia de la bomba. Para comprender que entendemos como función la turbomáquina de las turbomáquinas. El objetivo de esta tesis es entonces a presentar los fundamentos en la hidrodinámica de las turbomáquinas, en particular para flujos incompresibles y proponer una metodología de diseño de bombas centrífugas basadas en un modelo 1/2 dimensional.

## 2. Fundamentos de la mecánica de fluidos

### 2.1. Teoría de transporte de Reynolds

Se considera un volumen en el espacio donde existe un fluido y una propiedad física de este fluido que se transporta a lo largo de un eje en que se transporta dicha propiedad debido al movimiento del fluido. Este fenómeno es conocido como el transporte de Reynolds (T.R.).

El volumen de control es fijo en el espacio (velocidad de control).

El campo de velocidad del fluido ( $\mathbf{U} = (u, v, w)$ ).

El campo de densidad del fluido ( $\rho$ ).