







EDITORIAL UNIVERSIDAD DE CALDAS



# Maquinarias y equipos para la industria de alimentos

---

Luis Fernando Mejía Gutiérrez  
Félix Octavio Díaz Arango  
Ángela María Ormaza Zapata



EDITORIAL UNIVERSIDAD DE CALDAS

LIBROS DE TEXTO

Catalogación en la fuente, Biblioteca Universidad de Caldas

Mejía Gutiérrez, Luis Fernando

Maquinarias y equipos para la industria de alimentos/ Luis Fernando Mejía Gutiérrez,  
Félix Octavio Díaz Arango, Ángela María Ormaza Zapata. – Manizales: Universidad de Caldas, 2023.  
250 p. --il. -- ( Libros de Textos)

ISBN: 978-958-759-404-1

Industria de la maquinaria para procesamiento de alimentos/Industrias alimenticias/  
Tecnología de alimentos/Conservación de alimentos/Planificación de planta física y equipos/  
Díaz Arango, Octavio, coautor, Ormaza Zapata, Ángela María, coautora Tit./CDD 681.766 4/M516

Reservados todos los derechos

© Universidad de Caldas

© Luis Fernando Mejía Gutiérrez

ORCID: 0000-0002-2485-2377

© Félix Octavio Díaz Arango

ORCID: 0000-0002-1202-2376

© Ángela María Ormaza Zapata

ORCID: 0000-0002-4061-933X

Primera edición: 2023

*Libros de texto*

ISBN: 978-958-759-404-1

ISBN *pdf*: 978-958-759-405-8

Editorial Universidad de Caldas

Calle 65 N.º 26-10

Manizales, Caldas –Colombia

<https://editorial.ucaldas.edu.co/>

Editor: Jorge Ivan Escobar Castro

Coordinadora editorial:

Yolanda González Gil

Corrección de estilo:

Jorge Ivan Escobar Castro

Diseño de colección: Luis Osorio Tejada

Diagramación de páginas:

Edward Leandro Muñoz

Diseño de cubierta:

Edward Leandro Muñoz

Impreso y hecho en Colombia

*Printed and made in Colombia*

Todos los derechos reservados. Este libro se publica con fines académicos. Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta publicación, así como su circulación y registro en sistemas de recuperación de información, en medios existentes o por existir, sin autorización escrita de la Universidad de Caldas.

Universidad de Caldas | Vigilada Mineducación. Creada mediante Ordenanza Nro. 006 del 24 de mayo de 1943 y elevada a la categoría de universidad del orden nacional mediante Ley 34 de 1967. Acreditación institucional de alta calidad, 8 años: Resolución N.º 17202 del 24 de octubre de 2018, Mineducación.

## CONTENIDO

<b>Introducción</b>	<b>17</b>
CAPÍTULO I	
<b>Resistencia de materiales</b>	<b>19</b>
1.1. Selección y criterios de selección	21
1.2 Conceptos de resistencia de materiales	21
1.3 Ejemplos de aplicación	40
1.4 Ejercicios propuestos	45
<b>Lista de símbolos</b>	<b>47</b>
<b>Referencias</b>	<b>48</b>
CAPÍTULO II	
<b>Tipos de materiales</b>	<b>49</b>
2.1 Metales	51
2.2 No metales	66
2.3 Recubrimientos	76
2.4 Estructuras cristalinas	76
<b>Lista de símbolos</b>	<b>79</b>
<b>Referencias</b>	<b>80</b>
CAPÍTULO III	
<b>Tratamientos térmicos y termoquímicos</b>	<b>83</b>
3.1 Tratamientos térmicos	85
3.2 Tratamientos termoquímicos o de cementación	92
<b>Lista de símbolos</b>	<b>95</b>
<b>Referencias</b>	<b>95</b>

CAPÍTULO IV

<b>Corrosión</b>	<b>97</b>
<b>4.1 Tipos de corrosión</b>	<b>99</b>
<b>4.2 Factores que influyen en la corrosión</b>	<b>106</b>
<b>4.3 Protección contra la corrosión</b>	<b>108</b>
<b>Referencias</b>	<b>111</b>

CAPÍTULO V

<b>Tuberías</b>	<b>113</b>
<b>5.1 Condiciones de diseño</b>	<b>115</b>
<b>5.2 Materiales de construcción</b>	<b>116</b>
<b>5.3 Procedimiento de diseño del sistema de tuberías</b>	<b>118</b>
<b>5.4 Cargas de diseño para tuberías</b>	<b>122</b>
<b>5.5 Sistemas de línea de tuberías</b>	<b>128</b>
<b>5.6 Estudio de falla en tuberías</b>	<b>130</b>
<b>5.7 Mantenimiento de tuberías</b>	<b>131</b>
<b>5.8 Análisis de flexibilidad en sistemas de tuberías</b>	<b>132</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>136</b>
<b>Referencias</b>	<b>137</b>

CAPÍTULO VI

<b>Calderas</b>	<b>139</b>
<b>6.1 Combustión</b>	<b>141</b>
<b>6.2 Partes principales de una caldera y tipos de calderas</b>	<b>141</b>
<b>6.3 Criterios de selección de calderas</b>	<b>145</b>
<b>6.4 Actividades de operación</b>	<b>145</b>
<b>6.5 Mantenimiento de calderas</b>	<b>148</b>
<b>6.6 Control y determinación de la eficiencia en calderas</b>	<b>149</b>
<b>6.7 Combustibles para calderas</b>	<b>151</b>
<b>6.8 Problemas operacionales y su solución</b>	<b>153</b>
<b>6.9 Tratamiento y recorrido del agua en calderas</b>	<b>154</b>
<b>6.10 Fallas en calderas</b>	<b>157</b>
<b>6.11 Diagnóstico</b>	<b>159</b>



<b>Lista de símbolos</b>	<b>160</b>
<b>Referencias</b>	<b>160</b>

CAPÍTULO VII

<b>Bombas</b>	<b>163</b>
<b>7.1 Bombas dinámicas o de energía cinética</b>	<b>166</b>
<b>7.1.1.2 Relación entre rendimiento y velocidad específica</b>	<b>170</b>
<b>7.2 Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo</b>	<b>173</b>
<b>7.3 Selección de bombas</b>	<b>183</b>
<b>7.4 Mantenimiento de bombas</b>	<b>191</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>194</b>
<b>Referencias</b>	<b>195</b>

CAPÍTULO VIII

<b>Válvulas</b>	<b>197</b>
<b>8.1 Clasificación por operatividad del obturador</b>	<b>199</b>
<b>8.2 Clasificación por su función</b>	<b>199</b>
<b>8.3 Selección de válvulas</b>	<b>206</b>
<b>8.4 Mantenimiento de válvulas</b>	<b>209</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>210</b>
<b>Referencias</b>	<b>211</b>

CAPÍTULO IX

<b>Instalaciones eléctricas</b>	<b>213</b>
<b>9.1 Fases de la corriente eléctrica</b>	<b>215</b>
<b>9.2 Factores externos de diseño para una instalación eléctrica</b>	<b>216</b>
<b>9.3 Factores internos para diseñar una instalación eléctrica residencial</b>	<b>219</b>
<b>9.4 Cálculo de acometidas residenciales</b>	<b>226</b>
<b>9.5 Factor de demanda</b>	<b>226</b>
<b>9.6 Empalmes</b>	<b>227</b>

<b>Lista de símbolos</b>	<b>230</b>
<b>Referencias</b>	<b>231</b>

CAPÍTULO X

<b>Mantenimiento industrial</b>	<b>233</b>
<b>10.1 Métodos de mantenimiento</b>	<b>236</b>
<b>10.2 Fiabilidad en el mantenimiento</b>	<b>237</b>
<b>10.3 Programas de mantenimiento</b>	<b>246</b>
<b>10.4 Gestión del mantenimiento</b>	<b>246</b>
<b>Lista de símbolos</b>	<b>249</b>
<b>Referencias</b>	<b>249</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Esfuerzo cortante simple	23
<b>Figura 1.2.</b> Esfuerzo cortante doble	24
<b>Figura 1.3.</b> Esfuerzo de apoyo simple	24
<b>Figura 1.4.</b> Diagrama de formación unitaria vs esfuerzo	26
<b>Figura 1.5.</b> Módulo de Poisson	27
<b>Figura 1.8.</b> Curva característica de esfuerzo – deformación del acero	31
<b>Figura 1.9.</b> Diagrama esfuerzo – deformación para material frágil y dúctil	33
<b>Figura 1.10.</b> Material sometido a esfuerzo de tensión o tracción	38
<b>Figura 1.11.</b> Material sometido a esfuerzo de compresión	38
<b>Figura 1.12.</b> Material sometido a esfuerzo de flexión	39
<b>Figura 1.13.</b> Material sometido a esfuerzo de cizallamiento o corte	39
<b>Figura 1.14.</b> Material sometido a esfuerzo de torsión	40
<b>Figura 1.15.</b> Ejemplo de esfuerzo de apoyo	40
<b>Figura 1.16.</b> Esfuerzo cortante directo en una operación de perforación	42
<b>Figura 1.17.</b> Conexión mediante perno que ilustra el esfuerzo cortante simple	43
<b>Figura 1.18.</b> Junta mediante pernos que ilustra el esfuerzo cortante doble	44
<b>Figura 2.1.</b> Materiales refractarios por su composición química	71
<b>Figura 2.2.</b> Estructuras de las moléculas de polímeros	73
<b>Figura 2.3.</b> Estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC)	77
<b>Figura 2.4.</b> Estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC)	78
<b>Figura 2.5.</b> Estructura cristalina Hexagonal compacta (HCP)	79
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de recocido	85
<b>Figura 3.2.</b> Ciclo de recocido trabajado en frío que muestra los efectos sobre las propiedades mecánicas y la microestructura en cada etapa del ciclo	87
<b>Figura 3.3.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de recocido de difusión o de homogenización	88
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de recocido de ablandamiento o esferoidización	88
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de recocido intermedio	89
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de revenido	90
<b>Figura 3.7.</b> Representación esquemática del proceso de austempleado	91
<b>Figura 3.8.</b> Representación esquemática del proceso de martempleado	92
<b>Figura 3.9.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de nitruración	93
<b>Figura 3.10.</b> Diagrama tiempo vs. temperatura del proceso de carbonitruración gaseosa	94
<b>Figura 4.1.</b> Corrosión uniforme o generalizada	99

<b>Figura 4.2.</b> Corrosión por picadura o "pitting" a) dentro de una tubería y b) sobre una superficie	100
<b>Figura 4.3.</b> Corrosión por agrietamiento	100
<b>Figura 4.4.</b> Corrosión electroquímica o galvánica, a) en la unión de un tubo y b) al lado de un tornillo	101
<b>Figura 4.5.</b> Dealloying	101
<b>Figura 4.6.</b> Corrosión intergranular a) sobre una pieza metálica y b) sobre una barrera metálica para carreteras	102
<b>Figura 4.7.</b> Corrosión por fatiga o esfuerzo a) sobre una superficie metálica y b) sobre la cubierta de un avión	103
<b>Figura 4.8.</b> Corrosión por erosión a) Dentro de una tubería con codo, b) en un tornillo	103
<b>Figura 4.9.</b> Corrosión por rozamiento o fricción	104
<b>Figura 4.10.</b> Ataque por hidrógeno	105
<b>Figura 4.11.</b> Ataque por hidrógeno	105
<b>Figura 4.12.</b> Corrosión filiforme	106
<b>Figura 5.1.</b> Diagrama de cuerpo libre de una tubería	122
<b>Figura 5.2.</b> Perfiles de velocidad para flujos en conductos. a) flujo laminar y b) flujo turbulento	128
<b>Figura 5.3.</b> Sistema de tubería en serie	129
<b>Figura 5.4.</b> Sistema de tubería en paralelo	130
<b>Figura 5.5.</b> Clasificación de categorías según la temperatura de diseño d e la tubería y el diámetro nominal de la misma.	132
<b>Figura 6.1.</b> Caldera piro-tubular	143
<b>Figura 6.2.</b> Caldera acuotubular	144
<b>Figura 7.1.</b> Clasificación de las bombas más importantes	165
<b>Figura 7.2.</b> Bomba centrífuga y sus principales partes	167
<b>Figura 7.3.</b> Campo de aplicación de algunos tipos de bombas	170
<b>Figura 7.4.</b> Relación entre rendimiento y velocidad específica de algunas bombas centrífugas	171
<b>Figura 7.5.</b> Tipos de impulsores: a) cerrado, b) de doble aspiración, c) semiabierto, d) abierto	172
<b>Figura 7.7.</b> Esquema de una bomba de diafragma	175
<b>Figura 7.8.</b> Bomba de paletas y sus partes principales	177
<b>Figura 7.9.</b> Bomba de engranajes	178
<b>Figura 7.10.</b> Bomba peristáltica y sus principales partes	181
<b>Figura 7.12.</b> Bomba helicoidal y sus partes principales	183
<b>Figura 7.13.</b> Curvas características típicas de una bomba centrífuga de flujo radial	190
<b>Tabla 7.16.</b> Procedimientos para la operación de bombas y evitar fallos	192
<b>Tabla 7.17.</b> Mantenimiento para la operación de bombas	193
<b>Tabla 7.18.</b> Fallas presentadas con frecuencia en las bombas	193

<b>Figura 8.1.</b> Válvula de compuerta cerrada	200
<b>Figura 8.2.</b> Válvula de macho cerrada	201
<b>Figura 8.3.</b> Válvula de bola abierta	202
<b>Figura 8.4.</b> Válvula de mariposa cerrada	203
<b>Figura 8.5.</b> Válvula de retención cerrada	204
<b>Figura 8.6.</b> Válvula de diafragma	204
<b>Figura 8.7.</b> Válvula de globo cerrada	205
<b>Figura 10.1.</b> Curva de bañera	240
<b>Figura 10.2.</b> Funciones de tasas de fallos para la distribución de Weibull del tiempo de vida	244
<b>Figura 10.3.</b> Densidades de Weibull para distintos valores de $\beta$	245
<b>Figura 10.4.</b> Ejemplo de cronograma de mantenimiento industrial	247
<b>Figura 10.5.</b> Ejemplo de documento soporte para reportes de mantenimiento industrial	248

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Valores aproximados para el coeficiente de Poisson	29
<b>Tabla 1.2.</b> Coeficiente de expansión térmica ( $\alpha$ ) de algunos materiales	34
<b>Tabla 1.3.</b> Valores de resistencia última ( $S_u$ ) y cedencia ( $S_y$ ) de algunos materiales	36
<b>Tabla 2.1.</b> Tipos de acero al níquel más utilizados	53
<b>Tabla 2.2.</b> Clasificación de los aceros al carbono de acuerdo a su porcentaje	55
<b>Tabla 2.3.</b> Ejemplos de algunos aceros inoxidable martensíticos	56
<b>Tabla 2.4.</b> Ejemplos de algunos aceros inoxidable ferríticos	57
<b>Tabla 2.5.</b> Ejemplos de algunos aceros inoxidable austeníticos	58
<b>Tabla 2.6.</b> Designación según normas AISI de distintos tipos de acero al carbono y aleados	61
<b>Tabla 2.7.</b> Designación de las aleaciones del aluminio en forma forjada	63
<b>Tabla 2.8.</b> Tratamientos térmicos para las aleaciones de aluminio	64
<b>Tabla 2.9.</b> Tipos de vidrio utilizados como fibras	69
<b>Tabla 2.10.</b> Aditivos de los polímeros	74
<b>Tabla 2.11.</b> Técnicas para el conformado de polímeros	75
<b>Tabla 5.1.</b> Ejemplos de algunas normas ASME	115
<b>Tabla 5.2.</b> Tipos de tuberías a base de polímeros	117
<b>Tabla 5.3.</b> Materiales más utilizados en las tuberías según el fluido que transportan	118
<b>Tabla 5.4.</b> Pasos para el diseño mecánico de tuberías	119
<b>Tabla 5.5.</b> Velocidades de flujo utilizadas habitualmente en la industria de alimentos	120
<b>Tabla 5.6.</b> Velocidades recomendadas para fluidos en la elección del tamaño en tuberías	121
<b>Tabla 5.7.</b> Pérdidas de carga en función del caudal	121
<b>Tabla 5.8.</b> Factor $Y$ para $t \leq D/6$	123
<b>Tabla 5.9.</b> Clasificación de las cargas dinámicas	124
<b>Tabla 5.10.</b> Tipos de fallas presentadas en tuberías	130
<b>Tabla 5.11.</b> Pasos para realizar el mantenimiento de tuberías	131
<b>Tabla 5.12.</b> Clasificación por categorías de las líneas de tubería	133
<b>Tabla 5.13.</b> Colores de identificación para clasificación de tuberías	134
<b>Tabla 5.14.</b> Tipos de esfuerzos que afectan a los sistemas de tuberías	134
<b>Tabla 5.15.</b> Factores que afectan la flexibilidad de un sistema de tuberías	135
<b>Tabla 6.1.</b> Partes principales de la caldera de vapor y su función	142
<b>Tabla 6.2.</b> Encendido y apagado de la caldera	146
<b>Tabla 6.3.</b> Tipos de agua según su recorrido	154

<b>Tabla 6.4.</b> Tipos de agua de acuerdo a su composición química	155
<b>Tabla 6.5.</b> Etapas para el tratamiento del agua	156
<b>Tabla 6.6.</b> Tipos de falla en calderas por sobrecalentamiento	158
<b>Tabla 6.7.</b> Etapas de evolución de la falla	159
<b>Tabla 7.1.</b> Partes básicas de una bomba centrífuga	167
<b>Tabla 7.2.</b> Ventajas y desventajas de las bombas centrífugas	168
<b>Tabla 7.3.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de flujo radial, axial y mixto	169
<b>Tabla 7.4.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de desplazamiento positivo	173
<b>Tabla 7.5.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de émbolo	174
<b>Tabla 7.6.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de diafragma	175
<b>Tabla 7.7.</b> Tipos de bombas de paletas	177
<b>Tabla 7.8.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de paletas	177
<b>Tabla 7.9.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de engranajes	178
<b>Tabla 7.10.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de engranaje interno	179
<b>Tabla 7.11.</b> Ventajas y desventajas de las bombas peristálticas	180
<b>Tabla 7.12.</b> Ventajas y desventajas de las bombas de tornillo	181
<b>Tabla 7.13.</b> Ventajas de las bombas helicoidales	182
<b>Tabla 7.14.</b> Ventajas y desventajas de las bombas lobulares	183
<b>Tabla 7.15.</b> Pasos para la selección de bombas	184
<b>Tabla 8.1.</b> Criterios básicos para la selección de válvulas	207
<b>Tabla 8.2.</b> Especificaciones técnicas para la selección de válvulas	208
<b>Tabla 8.3.</b> Fallos que se pueden presentar en las válvulas	209
<b>Tabla 8.4.</b> Aspectos a tener en cuenta en el mantenimiento para válvulas de esclusa, de globo y de retención	210
<b>Tabla 9.1.</b> Calibre mínimo de conductores	217
<b>Tabla 9.2.</b> Tipos de aislamientos para alambres y cables	218
<b>Tabla 9.3.</b> Capacidad de corriente en conductores	218
<b>Tabla 9.4.</b> Número de conductores por tubería	220
<b>Tabla 9.5.</b> Porcentaje de llenado de bandejas portacables	221
<b>Tabla 9.6.</b> Número máximo de conductores en cajas de conexión	222
<b>Tabla 9.7.</b> Principales tipos de fusibles	223
<b>Tabla 9.8.</b> Algunos tipos y dimensiones de fusibles	224
<b>Tabla 9.9.</b> Selección de tomacorrientes	225
<b>Figura 9.1.</b> Unión western	227
<b>Figura 9.2.</b> Unión toma sencilla	228
<b>Figura 9.3.</b> Unión cola de rata	228
<b>Figura 9.4.</b> Unión toma doble	229
<b>Figura 9.5.</b> Unión toma anudada	229
<b>Figura 9.6.</b> Unión toma doblada	230
<b>Tabla 10.1.</b> Períodos de la evolución de la tasa de fallos	239





# Introducción

El objetivo de este texto es proveer información primordial para facilitar el proceso de formación ingenieril en la asignatura de maquinarias, equipos y resistencia de materiales del programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Caldas. Mediante el desarrollo de contenidos relacionados con la selección de materiales y selección de equipos, se considera siempre el conocimiento básico de las asignaturas prerrequisito de la línea de ingeniería, relacionados con matemática básica, física, fenómenos de transporte y operaciones en la industria de alimentos.

Este tratamiento presenta interés por parte de los estudiantes dada la gran cantidad de información poco precisa y de difícil apropiación existente en el medio. La idea central es el desarrollo de los contenidos analítico-ingenieriles relacionados con el dimensionamiento y selección de maquinaria y equipos que prestan servicios específicos en las operaciones de transformación de materias primas alimentarias.

El quehacer del ingeniero de alimentos se relaciona con la selección, operación y mantenimiento de los equipos y servicios, considerando a estos el alma de esta industria de bienes. A lo largo del texto, se les propone a los educandos la oportunidad de llevar a cabo un tratado metodológico basado en principios y procedimientos técnicos aplicables en el contexto real, y a situaciones que se presentan en una planta de procesos de alimentos. Asimismo, se brindan soluciones a diferentes problemas técnicos con criterios ingenieriles certeros e información de proveedores específicos, en la búsqueda de la entrega de resultados útiles. El presente texto guía ha sido pensado en 10 unidades, que pretenden englobar el quehacer del ingeniero de alimentos en su vida profesional, así como información básica sobre criterios de mantenimiento industrial, y como complemento al diseño de plantas creadas para el procesamiento industrial de alimentos.



CAPÍTULO I

# Resistencia de materiales



Los materiales se cansan, se agotan, se debilitan o se deforman si la carga es muy alta o se acumula, provocando fatiga o agrietamiento a nivel macro y micro estructural, por estas razones el estudio de la resistencia de los materiales se hace tan importante para la industria en general. (Salazar, 2007, p. 187)

## **1.1. Selección y criterios de selección**

La selección del material para las distintas piezas o componentes de un equipo o montaje mecánico es una de las etapas del diseño más críticas. Las exigencias de su desempeño y la respuesta del material inciden en su ciclo de vida y se relacionan con las propiedades físicas y mecánicas tales como la densidad, la resistencia mecánica, la rigidez, así como sus propiedades deslizantes, ópticas, térmicas y eléctricas. La selección del material está ligada al método de fabricación de la pieza, a un rango de costo razonable de acuerdo a su aplicación, composición química con diferentes grados de acabado y un conocimiento previo de los aspectos de mantenimiento del mismo; desde un punto de vista correctivo y preventivo (Budynas y Nisbett, 2008, p. 8).

La preferencia de materiales reciclables es clave para el ajuste de costos del diseño de equipos, atendiendo a la experiencia y conocimiento previo. No obstante, las recomendaciones de nuevos materiales siempre serán una constante dentro de un mercado que evoluciona de acuerdo a las necesidades propias de cada proceso. Esta brecha entre lo conocido y lo nuevo, se puede remediar al trabajar bajo parámetros cuantificables y normalizados que permitan ser comparados y hagan referencia directa e inequívoca sobre las propiedades del material a seleccionar (Dumitrescu y Quesada, 2010, p. 2).

## **1.2 Conceptos de resistencia de materiales**

### **1.2.1 Esfuerzo**

Es la resistencia interna que pone un material de área unitaria, a ser deformado por una carga externamente aplicada (ecuación 1.1) (Romero, Museros, Martínez y Poy, 2002, p. 189).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

$\sigma$ :	Esfuerzo
F:	Fuerza
A:	Área

Según la ecuación 1.1, si el área es menor, mayor es el esfuerzo, y el esfuerzo de apoyo se convierte en esfuerzo cortante, dado que el área tiende a cero.

## 1.2.2 Esfuerzo cortante directo

El vocablo cortante se refiere a la acción de corte, es decir, la fuerza aplicada se reparte uniformemente por el área de corte; se representa por la letra griega minúscula *tau* ( $\tau$ ) (ecuación 1.2) (Romero *et al.*, 2002, p. 295).

$$\tau = \frac{F}{A_s} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde:

$\tau$	Esfuerzo cortante
F	Fuerza aplicada
$A_s$	Área sometida al corte; es decir, el perímetro por su espesor que tiende a cero, si la herramienta de corte no tiene una forma cerrada se toma longitud en lugar de perímetro.

### 1.2.2.1 Esfuerzo cortante simple

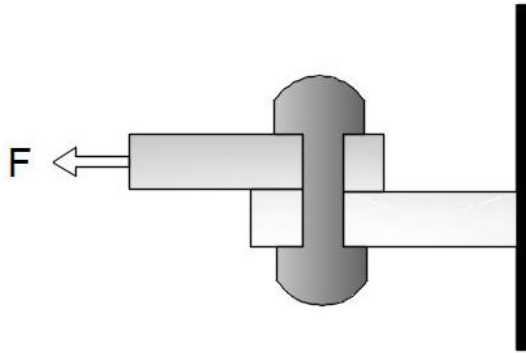
Cuando se aplican fuerzas perpendiculares al eje del pasador, existe la tendencia de fraccionarlo a través de su sección transversal, produciendo un esfuerzo cortante (figura 1.1). Esta acción se conoce como esfuerzo cortante simple (ecuación 1.3), porque una sola sección transversal del pasador resiste la fuerza cortante aplicada (Salazar, 2007, p. 46).

$$A_s = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Donde:

$A_s$	Área sometida a esfuerzo cortante en una sección transversal del pasador.
$D$	Diámetro

**Figura 1.1.** Esfuerzo cortante simple



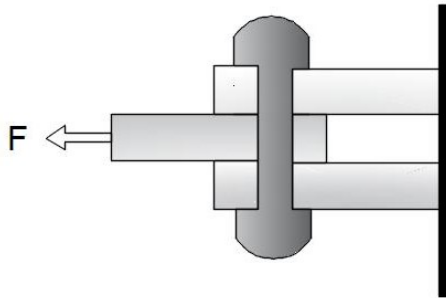
### 1.2.2.2 Esfuerzo cortante doble

Se presenta cuando hay dos secciones transversales que resisten la fuerza aplicada (figura 1.2). En esta disposición, se dice que el pasador está sometido a esfuerzo cortante doble (ecuación 1.4) (Salazar, 2007, p. 49).

$$A_s = 2 * \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

$A_s$	Área sometida al corte
$D$	Diámetro

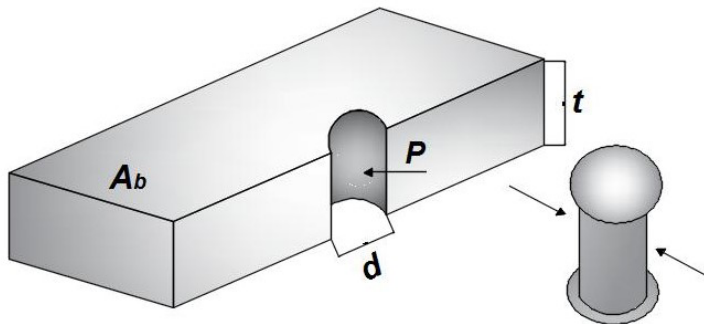
**Figura 1.2.** Esfuerzo cortante doble



### 1.2.3 Esfuerzo de apoyo

Si un cuerpo sólido está apoyado en otro y transfiere una carga a él, en las superficies de contacto se desarrolla una resistencia denominada esfuerzo de apoyo (figura 1.3) (ecuación 1.5 y 1.6) (Osorio, 2004).

**Figura 1.3.** Esfuerzo de apoyo simple



Fuente: adaptado de Osorio (2004)

$$\sigma_b = \frac{F}{A_b} \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

Donde:

$\sigma_b$	Esfuerzo de apoyo
$F$	Carga aplicada
$A_b$	Área de apoyo



$$A_b = \frac{\pi \times d \times t}{2} \quad (\text{Ecuación 1.6})$$

Donde:

$A_b$ :	Área de apoyo
$d$ :	Diámetro de la sección de apoyo
$t$ :	Espesor de la pieza

## 1.2.4 Deformación

Toda pieza o elemento que es sometido a una carga se deforma por la influencia de la carga aplicada. En este sentido, la deformación unitaria es la relación entre la deformación total y la longitud original de la barra. La deformación se representa con la letra griega minúscula *épsilon* ( $\epsilon$ ) (ecuación 1.7) (Mott, 2009).

En la figura 1.4 se presenta un diagrama de deformación unitaria vs. esfuerzo, donde se observa que el eje  $y$  está representado por la tensión o el esfuerzo, y el eje  $x$  por la deformación. En primera instancia se observa una línea oblicua designada zona de Hooke, luego al aumentar el valor de la tensión se llega al límite de proporcionalidad, más arriba al límite de fluencia, continúa aumentando el valor de tensión y se alcanza el límite de cedencia o límite elástico; al seguir aumentando el valor de la tensión aumenta considerablemente la deformación de la pieza o elemento que experimentará un esfuerzo de rotura hasta el punto de rotura aparente. Al prolongar la aplicación del esfuerzo el material alcanzará finalmente el punto de rotura.