





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, Angela 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

Introducción	17
---------------------	-----------

CAPÍTULO I

Resistencia de materiales	19
----------------------------------	-----------

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
---------------------------	----

Lista de símbolos	47
--------------------------	-----------

Referencias	48
--------------------	-----------

CAPÍTULO II

Tipos de materiales	49
----------------------------	-----------

2.1 Metales	51
-------------	----

2.2 No metales	66
----------------	----

2.3 Recubrimientos	76
--------------------	----

2.4 Estructuras cristalinas	76
-----------------------------	----

Lista de símbolos	79
--------------------------	-----------

Referencias	80
--------------------	-----------

CAPÍTULO III

Tratamientos térmicos y termoquímicos	83
--	-----------

3.1 Tratamientos térmicos	85
---------------------------	----

3.2 Tratamientos termoquímicos o de cementación	92
---	----

Lista de símbolos	95
--------------------------	-----------

Referencias	95
--------------------	-----------

CAPÍTULO IV

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

CAPÍTULO V

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

CAPÍTULO VI

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

Lista de símbolos	160
Referencias	160

CAPÍTULO VII

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

CAPÍTULO VIII

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

CAPÍTULO IX

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

Lista de símbolos	230
Referencias	231

CAPÍTULO X

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

LISTA DE FIGURAS

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

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

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

LISTA DE TABLAS

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

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

σ :	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* (τ) (ecuación 1.2) (Romero *et al.*, 2002, p. 295).

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

Donde:

τ	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

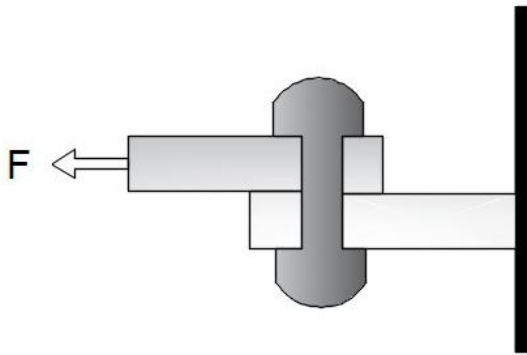
Cuando se aplican fuerzas perpendiculares al eje del pasador, existe la tendencia de fraccionarlo a través de su sección transversal, produciendo un esfuerzo cortante (figura 1.1). Esta acción se conoce como esfuerzo cortante simple (ecuación 1.3), porque una sola sección transversal del pasador resiste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



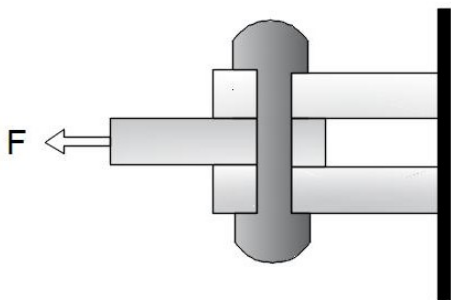
1.2.2.2 Esfuerzo cortante doble

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

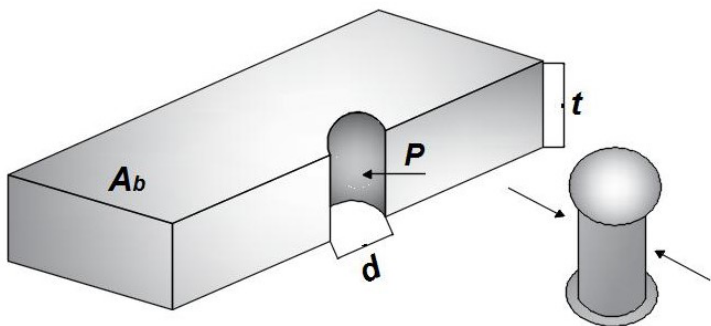
Figura 1.2. Esfuerzo cortante doble



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:

σ_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:

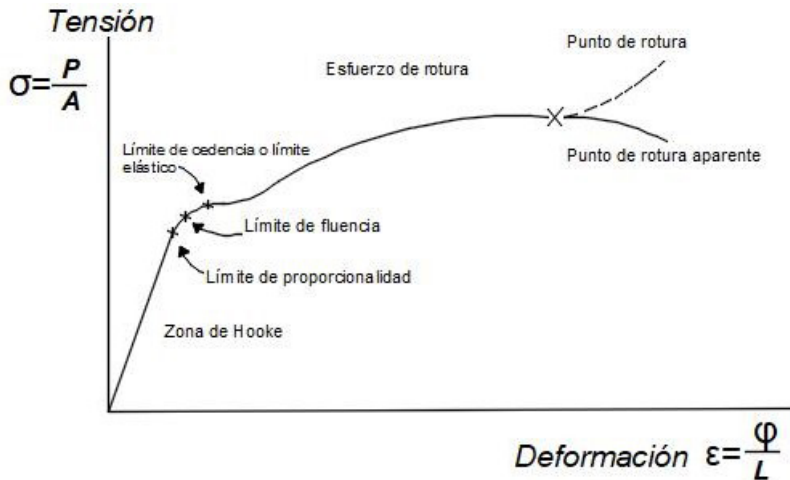
A_b :	Área de apoyo
d :	Diámetro de la sección de apoyo
t :	Espesor de la pieza

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* (ϵ) (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.

Figura 1.4. Diagrama de formación unitaria vs esfuerzo



Fuente: adaptado de Mott (2009)

$$\epsilon = \frac{\text{deformación total}}{\text{longitud original}} \quad (\text{Ecuación 1.7})$$

1.2.5 Coeficiente de Poisson

Es la relación entre la cantidad de deformación lateral y la de deformación axial (figura 1.5) (ecuaciones 1.8 y 1.9). En la tabla 1.1 se pueden observar los valores aproximados del coeficiente de Poisson (ecuación 1.10) para algunos materiales.

$$\epsilon_a = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad (\text{Ecuación 1.8})$$

$$\epsilon_L = \frac{H_f - H_0}{H_0} \quad (\text{Ecuación 1.9})$$