

CÁLCULO, CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE MÁQUINAS I

NOTAS A LA NUEVA EDICIÓN DEL LIBRO DE TEXTO

El texto base que se recomienda en la Guía del Curso para la asignatura de Cálculo, Construcción y Ensayo de Máquinas I es, además de la addenda de Vibraciones en Máquinas, el libro de Shigley y Mischke, "Diseño en Ingeniería Mecánica", 5ª edición, McGraw-Hill. De esta obra ha aparecido recientemente la 6ª edición, con una serie de modificaciones que obliga a hacer algunas consideraciones y aclaraciones. Los alumnos que utilicen esta 6ª edición para la preparación de la asignatura deberán tener presente lo que se comenta a continuación.

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

Aunque, obviamente, los contenidos de ambas ediciones son coincidentes en lo básico, existen algunas diferencias en cuanto a la presentación de los mismos. Del mismo modo, el programa de la asignatura es idéntico, con independencia de la edición que se utilice para su preparación.

Sin embargo, a fin de facilitar al alumno la tarea de delimitación de los contenidos del programa dentro de la mayor amplitud del texto base, ha parecido conveniente modificar los títulos de los capítulos y epígrafes, a fin de hacerlos coincidir con los de cada edición del libro. No se trata, por supuesto, de que el programa no sea el mismo (es idéntico), sino de que sus contenidos se agrupan bajo epígrafes ligeramente diferentes en ocasiones.

A continuación se presenta el programa desarrollado de la asignatura, organizado de acuerdo con la estructura de la 6ª edición del libro de Shigley. Entre paréntesis se indican los capítulos y epígrafes de los libros de texto recomendados, en los que se desarrollan los contenidos correspondientes.

Unidad Didáctica I

TEMA 1. INTRODUCCIÓN (Capítulo 1 del libro de texto).

- 1.1. El diseño (1-1).
- 1.2. Interacción entre los elementos del proceso de diseño (1-5).
- 1.3. Códigos y normas (1-6).
- 1.4. Economía (1-7).
- 1.5. Esfuerzo y resistencia (1-11).
- 1.6. Factor de diseño y factor de seguridad (1-12).
- 1.7. Confiabilidad (1-13).

TEMA 2. ESFUERZO (Capítulo 3 del libro de texto).

- 2.1. Componentes del esfuerzo (3-1).
- 2.2. Círculos de Mohr (3-2).
- 2.3. Esfuerzo triaxial (3-3).
- 2.4. Esfuerzos uniformemente distribuidos (3-4).
- 2.5. Deformación elástica (3-5).
- 2.6. Relaciones esfuerzo-deformación (3-6).
- 2.7. Equilibrio (3-7).
- 2.8. Esfuerzo cortante y momento flexionante (3-8).
- 2.9. Esfuerzo normal en flexión (3-10).
- 2.10. Vigas de sección asimétrica (3-11).
- 2.11. Esfuerzos cortantes en vigas (3-12).
- 2.12. Esfuerzos cortantes en vigas de sección rectangular (3-13).
- 2.13. Torsión (3-14)¹.
- 2.14. Concentración de esfuerzos (3-15).
- 2.15. Esfuerzos de contacto (3-21).

¹ No incluye los sub-apartados "Tubos de pared delgada cerrados" y "Secciones de pared delgada abierta".

TEMA 3. DEFLEXIÓN Y RIGIDEZ (Capítulo 4 del libro de texto).

- 3.1. Constante de resortes (4-1).
- 3.2. Tensión, compresión y torsión (4-2).
- 3.3. Deformación debida a flexión (4-3).
- 3.4. Energía de deformación (4-7).
- 3.5. Teorema de Castigliano (4-8).
- 3.6. Problemas estáticamente indeterminados (4-9).

TEMA 4. VIBRACIONES EN MÁQUINAS (Addenda de Vibraciones en Máquinas).

- 4.1. Características de las vibraciones mecánicas y choques.
- 4.2. Respuesta de los sistemas mecánicos ante vibraciones y choques.
- 4.3. Efecto de las vibraciones y choques en sistemas mecánicos.
- 4.4. Ensayo de sistemas mecánicos mediante el estudio del comportamiento ante vibraciones y choques.

Unidad Didáctica II

TEMA 5. MATERIALES (Capítulo 5 del libro de texto).

- 5.1. Resistencia estática (5-1).
- 5.2. Deformación plástica (5-2).
- 5.3. Resistencia y trabajo en frío (5-3).
- 5.4. Dureza (5-4)².
- 5.5. Efectos de la temperatura (5-6).
- 5.6. Fundición en arena (5-8).
- 5.7. Moldeo de cascarón (5-9).
- 5.8. Fundición en molde perdido (5-10).
- 5.9. Proceso de metalurgia de polvos (5-11).
- 5.10. Procesos de trabajo en caliente (5-12).
- 5.11. Procesos de trabajo en frío (5-13).
- 5.12. Tratamiento térmico del acero (5-14).
- 5.13. Aceros aleados (5-15).
- 5.14. Aceros resistentes a la corrosión (5-16).
- 5.15. Materiales para fundición (5-17).
- 5.16. Metales no ferrosos (5-18).
- 5.17. Plásticos (5-19).
- 5.18. Sensibilidad a la muesca (5-20).
- 5.19. Introducción a la mecánica de la fractura (5-21)³.
- 5.20. Agrietamiento por corrosión en esfuerzo continuo (5-22).

TEMA 6. FALLAS RESULTANTES DE CARGA ESTÁTICA (Capítulo 6 del libro de texto).

- 6.1. Resistencia estática (6-1).
- 6.2. Concentración de esfuerzo (6-2).
- 6.3. Hipótesis de la falla (6-3).
- 6.4. Materiales dúctiles: hipótesis del esfuerzo cortante máximo (Tresca) (6-4).
- 6.5. Materiales dúctiles: hipótesis de la energía de deformación (6-5).
- 6.6. Materiales dúctiles: hipótesis de la fricción interna (6-6).
- 6.7. Críticas a las hipótesis por medio de datos en materiales dúctiles (6-7).

² En ésta, como en otras secciones del libro, el autor considera determinadas magnitudes físicas (dureza, resistencia, etc.) como distribuciones estadísticas, en lugar de valores determinados. Es evidente que en la realidad las cosas son así; sin embargo, este enfoque probabilístico excede los objetivos de la asignatura. Dicho enfoque se introduce en el apartado 1-7 del tema 1, y se trabaja con más detalle en el capítulo de rodamientos. En todo el resto del programa, tales magnitudes estarán siempre asociadas a valores, y tan sólo se habrá de tener presente que tales valores se refieren a una fiabilidad (confiabilidad) determinada. Así, por ejemplo, en referencia a este apartado, la relación entre la resistencia última y la dureza Brinell para aceros al carbono de baja aleación, se utilizarán las ecuaciones (5-20) del libro para una confiabilidad del 99%, las (5-21) para hierro fundido, etc.

³ No incluye los sub-apartados "Fatiga", "Crecimiento de la grieta" y "Predicción de la vida (o duración)".

- 6.8. Materiales frágiles: hipótesis del esfuerzo normal máximo (Rankine) (6-8).
- 6.9. Materiales frágiles: modificaciones de la hipótesis de Mohr (6-9).
- 6.10. Crítica a las hipótesis por medio de datos en materiales frágiles (6-10).

TEMA 7. FALLAS RESULTANTES POR CARGA VARIABLE (Capítulo 7 del libro de texto)⁴.

- 7.1. Introducción a la fatiga en metales (7-1).
- 7.2. Relaciones deformación-vida (7-2).
- 7.3. Relaciones esfuerzo-vida (7-3).
- 7.4. Límite de resistencia a la fatiga (7-4).
- 7.5. Resistencia a la fatiga (7-5).
- 7.6. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga (7-6).
- 7.7. Concentración de esfuerzo y sensibilidad a la muesca (7-7).
- 7.8. Caracterización de esfuerzos fluctuantes (7-10).
- 7.9. Lugares geométricos ante esfuerzos variables (7-11).
- 7.10. Resistencia a la fatiga por torsión bajo esfuerzos pulsantes (7-12).
- 7.11. Cargas combinadas (7-13).
- 7.12. Daño acumulativo por fatiga (7-15).
- 7.13. Resistencia a la fatiga superficial (7-17).

Unidad Didáctica III

TEMA 8. TORNILLOS, SUJETADORES Y DISEÑO DE UNIONES NO PERMANENTES (Capítulo 8 del libro de texto).

- 8.1. Normas y definiciones de roscas (8-1).
- 8.2. Mecánica de los tornillos de transmisión de potencia (8-2).
- 8.3. Sujetadores roscados (8-3).
- 8.4. Uniones: rigidez del sujetador (8-4).
- 8.5. Uniones: rigidez del elemento (8-5).
- 8.6. Resistencia del perno (8-6).
- 8.7. Uniones a tensión: la carga externa (8-7).
- 8.8. Relación de par de torsión del perno con la tensión del perno (8-8).
- 8.9. Unión estáticamente cargada a tensión: precarga (8-9).
- 8.10. Uniones con empaque (8-10).
- 8.11. Juntas a tensión: carga dinámica (8-11).
- 8.12. Uniones a cortante (8-13).
- 8.13. Tornillos de presión (8-14).
- 8.14. Pasadores y cuñas (8-15).

TEMA 9. RESORTES MECÁNICOS (Capítulo 10 del libro de texto)⁵.

- 9.1. Esfuerzos en resortes helicoidales (10-1).
- 9.2. Efecto de curvatura (10-2).
- 9.3. Deflexión de resortes helicoidales (10-3).
- 9.4. Resortes de extensión (10-4).
- 9.5. Resortes de compresión (10-5).
- 9.6. Estabilidad (10-6).
- 9.7. Materiales para resortes (10-7).
- 9.8. Frecuencia crítica de resortes helicoidales (10-9).
- 9.9. Carga de fatiga (10-10, 10-11 y 10-12).
- 9.10. Diseño de resortes de espiras helicoidales de torsión (10-14).

⁴ Algunos de los valores de los coeficientes que se indican en este capítulo del libro de texto son ligeramente diferentes a los que se presentan en la 5ª edición, debido sin duda a nuevos resultados de recientes investigaciones. Sin embargo, todos los resultados del libro "Problemas de Diseño de Máquinas" están calculados con los datos de la 5ª edición. Por ello, se recomienda utilizar en los cálculos los datos de dicha 5ª edición, a fin de obtener resultados coincidentes. En el anexo I de este documento se especifican dichos valores. En todo caso, se recomienda preparar este tema del programa con el libro "Fundamentos del Diseño de Máquinas".

⁵ También en este capítulo se modifican algunos valores respecto de la 5ª edición. Utilizar preferiblemente los valores que se presentan en el anexo II.

TEMA 10. COJINETES DE CONTACTO RODANTE (Capítulo 11 del libro de texto).

- 10.1. Tipos de cojinetes (11-1).
- 10.2. Vida de los cojinetes (11-2).
- 10.3. Efecto carga-vida del cojinete, a confiabilidad constante (11-3).
- 10.4. Supervivencia del cojinete: efecto confiabilidad-vida (11-4)⁶.
- 10.5. Efecto carga-vida-confiabilidad (11-5).
- 10.6. Cargas combinadas, radial y de empuje (11-6).
- 10.7. Selección de cojinetes de bolas y de rodillos cilíndricos (11-8).
- 10.8. Selección de cojinetes de rodillos cónicos (11-9).
- 10.9. Lubricación (11-11).
- 10.10. Montaje y alojamiento (11-12).

TEMA 11. COJINETES DE CONTACTO DESLIZANTE Y LUBRICACIÓN (Capítulo 12 del libro de texto).

- 11.1. Tipos de lubricación (12-1).
- 11.2. Viscosidad (12-2).
- 11.3. Ecuación de Petroff (12-3).
- 11.4. Lubricación estable (12-4).
- 11.5. Lubricación de película gruesa (12-5).
- 11.6. Teoría hidrodinámica (12-6).
- 11.7. Consideraciones de diseño (12-7).
- 11.8. Relaciones de las variables (12-8).
- 11.9. Condiciones de estado estable en cojinetes autocontenidos (12-9).
- 11.10. Holgura (12-10).
- 11.11. Cojinetes con lubricación a presión (12-11).

TEMA 12. EMBRAGUES Y FRENOS (Capítulo 16 del libro de texto).

- 12.1. Fundamentos del análisis de frenos (16-1).
- 12.2. Embragues y frenos de tambor con zapatas internas expansibles (16-2).
- 12.3. Embragues y frenos de tambor con zapatas exteriores contráctiles (16-3).
- 12.4. Embragues y frenos de banda (16-4).
- 12.5. Embragues axiales de fricción de contacto (16-5).
- 12.6. Frenos de disco (16-6).
- 12.7. Embragues y frenos cónicos (16-7).
- 12.8. Consideraciones de energía (16-9).
- 12.9. Aumento de la temperatura (16-10).
- 12.10. Materiales de fricción (16-11).

TEMA 13. FLECHAS Y EJES (Capítulo 18 del libro de texto).

- 13.1. Introducción (18-1).
- 13.2. Determinación de la configuración geométrica de un eje (18-2).
- 13.3. Análisis de resistencia (18-3).

⁶ Ver anexo III para valores de los parámetros de Weibull.

ANEXO I COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO A FATIGA

En este anexo se presentan los valores de los coeficientes que se deben utilizar para los cálculos a fatiga, de forma que los resultados obtenidos coincidan con los del libro de problemas. Estos valores son los que presenta la 5ª edición del libro de texto “Diseño en Ingeniería Mecánica”, así como la obra de consulta recomendada “Fundamentos del Diseño de Máquinas”. Se recomienda utilizar este último para la preparación del tema 7 del programa.

El límite de fatiga de probeta rotatoria, o límite de fatiga sin corregir, S'_e , para el caso de aceros, se tomará como el menor de $0.504S_{ut}$ o 1400 MPa (200 kpsi), en lugar de los valores dados por la ecuación (7-4) del libro de texto. La resistencia a fatiga para 1000 ciclos se considerará igual a $0.9S_{ut}$; es decir, el coeficiente f que aparece en las ecuaciones de la página 376 se tomará igual a 0.9 en todos los casos.

El factor de superficie k_a se calculará con la ecuación $k_a = aS_{ut}^b$, donde los coeficientes a y b se obtendrán de la siguiente tabla (que sustituye a la tabla 7-5 del libro de texto):

Acabado superficial	a		b
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272.0	-0.995

El factor de tamaño para carga de flexión y torsión –ecuación (7-10) del libro– para diámetros menores de 2 pulg (51 mm) se calculará con las expresiones:

$$k_b = \left(\frac{d}{0.3} \right)^{-0.1133} \quad \text{para } 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg } (d \text{ en pulg})$$

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62} \right)^{-0.1133} \quad \text{para } 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm } (d \text{ en mm})$$

El factor de carga está muy confusamente explicado en el libro de texto. Se utilizará $k_c = 0.923$ para carga axial con $S_{ut} \leq 220$ kpsi (1520 MPa), y $k_c = 1$ para todos los restantes casos.

El factor de temperatura, obtenido de la tabla 7-11, se utilizará, siempre que sea posible, afectando a la resistencia última, lo que afectará también, entre otros factores, al cálculo de k_a . Cuando se haga así, se tomará, consecuentemente, $k_d = 1$.

El factor de concentración de esfuerzo se calculará mediante la ecuación $K_f = 1 + q(K_t - 1)^7$.

⁷ Para el cálculo de los factores de concentración de esfuerzos teóricos K_t correspondientes a ejes redondos con cambio de sección (figuras E-15-7, E-15-8 y E-15-9), el libro de texto presenta una serie de ecuaciones y tablas, que en la edición anterior venían dadas en forma de gráficas. Quiere decirse que habrá una pequeña diferencia entre los valores obtenidos por ambos métodos. Para la resolución de los problemas del libro “Problemas de Diseño de Máquinas” se recomienda utilizar las ecuaciones y tablas del libro para comprobar que la diferencia es pequeña con respecto a los valores que se dan en el libro de problemas, pero continuar la resolución con estos últimos valores, para que los resultados coincidan.

ANEXO II COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE UNIONES ROSCADAS

El factor de concentración de esfuerzos en el gancho de los resortes de extensión se calculará mediante la expresión:

$$K = \frac{r_1}{r_i}$$

en lugar de las expresiones (10-10a) y (10-10b) del libro.

La tabla 10-5 para los coeficientes de la expresión de la resistencia última del alambre, se sustituirá por la siguiente:

Material	ASTM Núm.	m	A	
			kpsi	MPa
Alambre para cuerda musical	A228	0.163	186	2060
Alambre revenido en aceite	A229	0.193	146	1610
Alambre estirado duro	A227	0.201	137	1510
Al cromo vanadio	A232	0.155	173	1790
Al cromo silicio	A401	0.091	218	1960

Para el cálculo de los límites de fatiga a torsión S_{se} de aceros, corregidos por acabado superficial, tamaño y cargas, en lugar de los valores que aparecen en la página 630, se tomarán los siguientes:

$$S_{se} = k_a k_b k_c S'_{se} = 45.0 \text{ kpsi (310 MPa)} \quad \text{para resortes sin granallar}$$

$$S_{se} = k_a k_b k_c S'_{se} = 67.5 \text{ kpsi (465 MPa)} \quad \text{para resortes granallados}$$

ANEXO III PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA COJINETES DE RODADURA

El libro, en los ejemplos 11-2 y 11-3, indica los valores de los parámetros de Weibull para los cojinetes de bolas, pero no considera el caso de cojinetes de rodillos, cilíndricos o sónicos. La tabla siguiente amplía esa información:

Tipo de rodamiento	x_0	$(\theta - x_0)$	b
Bolas o Rodillos cilíndricos	0.02	4.439	1.483
Rodillos Cónicos	0	4.48	1.5