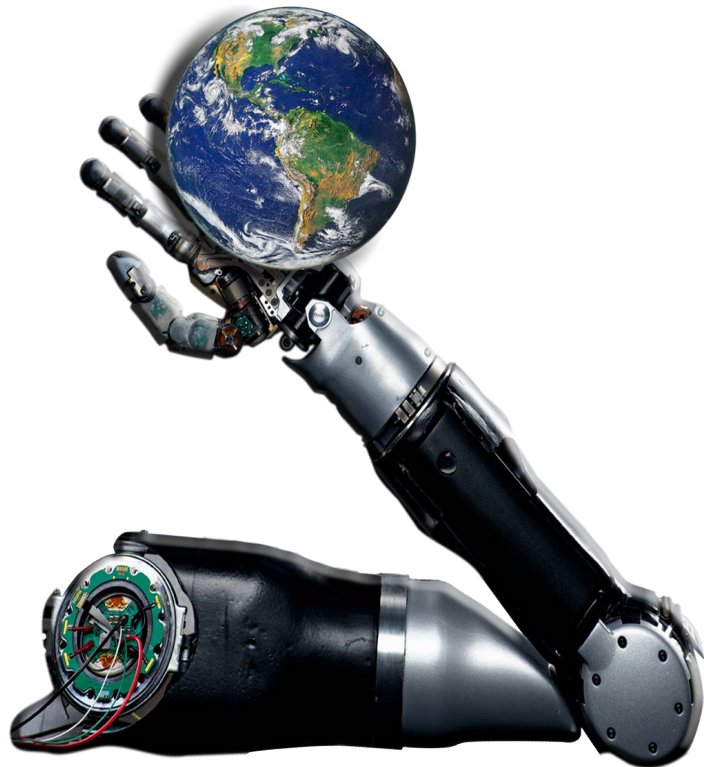


# Compendio temático y tópicos selectos para la formación en diseño mecánico del ingeniero en mecatrónica

---

*Juan Roberto Rodríguez Bello*



**Compendio temático y tópicos selectos  
para la formación en diseño mecánico  
del ingeniero en mecatrónica**

---



# Compendio temático y tópicos selectos para la formación en diseño mecánico del ingeniero en mecatrónica

---

*Juan Roberto Rodríguez Bello*

Instituto Politécnico Nacional

— México —

*Compendio temático y tópicos selectos para la formación  
en diseño mecánico del ingeniero en mecatrónica*

Juan Roberto Rodríguez Bello

Primera edición: 2015

D.R. © 2015

Instituto Politécnico Nacional

Luis Enrique Erro s/n

Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”

Zacatenco, Deleg. Gustavo A. Madero

CP 07738, Ciudad de México

Dirección de Publicaciones

Revillagigedo 83, Centro

Deleg. Cuauhtémoc

CP 06070, Ciudad de México

ISBN 978-607-414- 514-4

Impreso en México / *Printed in Mexico*

[www.publicaciones.ipn.mx](http://www.publicaciones.ipn.mx)

## PREFACIO

---

Siempre se ha intentado formar de la mejor manera posible a los estudiantes en las áreas de mayor importancia para sus carreras, desarrollando los programas adecuados y acordes con sus necesidades, para enfrentar los problemas en sus campos laborales.

Este libro busca resumir el inmenso campo del Diseño y adecuarlo a los alcances que puede tener un ingeniero en Mecatrónica, con base en los programas de estudio y agregando algunos tópicos que por lo regular no se cubren en los tiempos establecidos, y otros que complementan dichos programas. Estos temas se escogieron con base en la experiencia de los egresados de diferentes institutos de nivel superior, quienes se topan con ellos en sus centros de trabajo, sobre todo al resolver problemas que involucran las diferentes disciplinas que conforman la Mecatrónica, y que también se enfrentan a una realidad industrial diferente a la que por lo común se vislumbra en las aulas; tal es el ejemplo del tema “Árboles de transmisión”, del cual, la mayor parte de los textos presentan problemas y ejemplos que datan de los años 1920 a 1940, aproximadamente.

Es un hecho que el Diseño actual es compacto, y en él no tienen cabida árboles de 30 pulgadas o más de longitud; también es un hecho que la potencia no puede ser un dato, ya que es esencial que el ingeniero en Mecatrónica, al igual que el mecánico, sean capaces de calcularla a partir del trabajo que realizará la máquina por diseñar. También es relevante que cuenten con el conocimiento de las diferentes normas que rigen los diversos sistemas, tanto de producción (hablando de las partes

comerciales), como de las partes por fabricar. De estas últimas se pueden citar algunas áreas vitales para la fabricación, como el dibujo para manufactura, los aceros para maquinaria y herramental, los diferentes grados y escalas de dureza de los mismos, y las normas oficiales de las áreas de electrónica, electricidad y control de sistemas.

El objetivo de esta obra es que el área de Mecánica sea lo más completa posible dentro de la formación del ingeniero en Mecatrónica, evitando exceder los límites de información que realmente requiere; aunque no está exento de realizar proyectos de gran magnitud, por lo regular los diseños que realiza suelen ser pequeños.

También se busca que el ingeniero en Mecatrónica pueda integrar mejor esta área con las otras, dando la base adecuada con temas como Estática, Dinámica, Ciencia de materiales y Resistencia de materiales, previos a los de Diseño mecánico, continuando con el Dibujo normalizado para manufactura, y contemplando también el tópico de “Ajustes y tolerancias”, vital para el correcto funcionamiento y la precisión de todo elemento de máquina que trabaje en conjunto con otros.

Cabe mencionar que para evitar distracciones, se evaden temas relacionados con software para diseño, ya que por lo general crean en el estudiante la inquietud de “diseñar directamente” sin llegar, en muchas ocasiones, a saber interpretar lo que éstos arrojan como resultados. Por esta situación, me parece más adecuado saber hacer un cálculo y verificarlo con estas herramientas poderosas, las cuales reducen el tiempo de la forma tradicional de construir un prototipo y de las pruebas destructivas de los diferentes diseños.

En realidad, el medio de aprendizaje principal es la resolución de problemas, los cuales deben reflejar lo más posible lo que sucede en la industria, y ser de actualidad, considerando además las normas relacionadas con los temas que involucran.

## AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco sinceramente a quienes hicieron posible este libro, comenzando por las escuelas del Instituto Politécnico Nacional que me formaron en mi área de estudios: el CECyT Wilfrido Massieu y la ESIME, Unidades Profesionales Azcapotzalco y Zacatenco.

También expreso mi reconocimiento a aquellos que me dieron mi formación base: mis profesores, entre quienes destacan el M. en C. José Antonio González Vergara, el Ing. José Galván Ramírez, el Ing. Jorge Castillo Rivera y el Ing. Gonzalo Mejía Ordóñez, quien fue un gran apoyo en el área de Manufactura, así como la Lic. María de San Juan Hernández y, en especial, el M. en C. Alfredo Sánchez Flores (QEPD), quienes me aportaron su confianza y, sobre todo, su conocimiento.

No puedo olvidar a todos aquellos que han formado parte de mi carrera docente en el mismo Instituto Politécnico Nacional, la cual inicié en 1995. Entre ellos recuerdo a mis compañeros: el M. en C. José Alfredo Colín Ávila, el M. en C. Alfonso Campos Vázquez, el M. en C. Abraham Rodríguez Galeotte, el D. en C. José de Jesús Silva Lomelí, el Ing. Emilio N. Brito Martínez, el M. en C. Antonio Ávila Méndez y el D. en C. Rafael Trovamala Landa, por nombrar sólo a algunos, quienes han apoyado con el mejor ambiente de trabajo en diferentes etapas de mi carrera.

Por último, agradezco a todos los que me formaron como maestro, en especial al M. en C. Jorge Ramos Watanave y al M. en C. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda.



Asimismo, deseo expresar un agradecimiento especial a quienes realizaron las revisiones durante la edición, impresión y publicación de este libro, pues se entiende que, por su magnitud, fue un trabajo considerable para los encargados de efectuar la corrección de las diferentes pruebas de imprenta.

*Prof. M. en C. Juan Roberto Rodríguez Bello*

## ACERCA DEL AUTOR

---

El M. en C. Juan Roberto Rodríguez Bello comenzó su formación en 1985, cuando ingresó al CECyT Wilfrido Massieu; continuó en 1988, al ingresar a la ESIME, Unidad Profesional Azcapotzalco, de la que egresó como ingeniero mecánico en 1993, realizando posteriormente estudios de maestría en Ciencias en el área en la ESIME, Unidad Profesional Zacatenco, de 1997 a 1999.

Actualmente es profesor de nivel superior en el Instituto Politécnico Nacional (con una trayectoria de 1995 a la fecha), impartiendo las asignaturas de Resistencia de materiales y Diseño de elementos de máquina en la ESIME, Unidad Profesional Azcapotzalco (hasta 2003), y en la UPIITA (aún en la actualidad). También ha participado en diferentes asignaturas en ambas unidades académicas, como Diseño mecánico, Resistencia de materiales, Dibujo normalizado, Dibujo asistido por computadora, Procesos de manufactura y Dinámica, entre otras.



# NOMENCLATURA

---

La nomenclatura utilizada en este libro es la siguiente:

## Variable      Significados

$A$	Área. Constante.
$a$	Aceleración. Coeficiente que depende de la resistencia última del material.
$B$	Constante.
$b$	Ancho de Corona. Largo del diente.
$C, C_{vsrc}$	Centígrado. Constante. Constante de integración. Coeficiente de corrección por volumen, soldadura, rugosidad y confiabilidad.
$C$	Constante que depende de la forma del diente y del grado de exactitud del maquinado.
CIR	Centro Instantáneo de Rotación.
$c$	Distancia del eje neutro a la fibra más alejada.
$C^S$	Coeficiente o factor de servicio.
$F_f$	Factor de funcionamiento.
$d$	Diámetro. Diámetro interior. Distancia.
$D$	Diámetro exterior.
$E$	Módulo de elasticidad.

Variable	Significados
$e$	Espesor de pared. Base de logaritmos neperianos.
$F$	Fuerza.
$F_n$	Fuerza normal.
$F_d$	Carga dinámica.
$F_t$	Fuerza transmitida.
$F_0$	Carga estática de fatiga en flexión.
$F_w$	Carga de desgaste.
$f$	Frecuencia de giro. Coeficiente de fricción.
F.S.	Factor de seguridad.
$G$	Módulo de elasticidad al cortante. Módulo de rigidez.
$G$	Factor de corrección por diferencia en el ángulo $\alpha$ .
$g$	Aceleración de la gravedad.
HBN, H	Número de dureza Brinell.
HRC	Número de dureza Rockwell C.
$H$	Altura del diente.
$h_0$	Espesor de la película de lubricante.
$h$	Duración que se desea en horas de trabajo a plena carga.
$I$	Momento de inercia rectangular. Distancia entre centros.
$i$	Número de espiras del resorte.
$J$	Momento de inercia polar.
$k$	Radio de giro. Presión de Rodadura.
$K_f, K_t$	Coeficiente de concentración de esfuerzos. Real y teórico.
$K$	Factor de esfuerzo por fatiga.
$L$	Longitud, longitud de banda.
L.E.	Límite elástico.
$L_0$	Longitud inicial.
$L_f$	Longitud final.
$M$	Momento. Momento de flexión.
$Mt$	Momento o par de torsión.

Variable	Significados
$m$	Módulo. Módulo normal.
$m_{m c}$	Módulo medio. Módulo circunferencial.
$N$	Potencia. Número de dientes. Factor de seguridad.
$n$	Número de ciclos. Revoluciones por minuto.
$P$	Carga. Presión. Paso diametral.
$p$	Paso circular.
$Q$	Relación entre número de dientes de una pareja de engranes.
$q$	Carga repartida. Sensibilidad de la entalla.
$r$	Radio. Radio interior. Vector de posición. Radio de la entalla.
$R$	Radio externo. Reacción de un apoyo. Relación de esbeltez.
$Rc$	Resistencia de cedencia.
$R_f$	Resistencia a la fatiga.
$R_{f'}$	Resistencia a la fatiga teórica.
$Ru$	Resistencia última.
$S$	Módulo elástico de sección. Esfuerzo.
$s$	Longitud de arco. Esfuerzo permisible. Módulo de sección.
$S_0$	Esfuerzo estático.
$S_{es}$	Esfuerzo de fatiga superficial.
$t$	Espesor. Tiempo. Tangente de referencia. Ancho del diente.
$T$	Par o momento. Tensión en bandas.
$T_1$	Tramo de mayor tensión
$T_2$	Tramo de menor tensión.
$\Delta T$	Variación de temperatura ( $T_{trab} - T_{amb}$ )
$v$	Velocidad lineal. Velocidad periférica. Velocidad lineal de la banda.
$V_0$	Volumen inicial.
$V_f$	Volumen final.
$w$	Carga uniformemente distribuida. Peso unitario de la banda (Kg/m).
$W$	Número de revoluciones en el cálculo de desgaste para engranes.
$W_f$	Módulo de sección.

Variable	Significados
$x$	Eje de coordenadas. Distancia sobre el eje.
$y$	Eje de coordenadas. Factor de forma de Lewis.
$y$	Distancia del eje neutro a la fibra de análisis.
$Z$	Número de dientes (Sistema métrico).
$Z_{ID}$	Número de dientes ideal (Sistema métrico).
$Z_f$	Número de dientes ficticio.
$\alpha$	Ángulo de abrazamiento de la polea menor (rad). Aceleración angular.
$\beta$	Semiángulo del cono primitivo. Ángulo de la sección de la banda.
$\delta_c$	Deformación.
$\eta$	Eficiencia.
$\phi$	Ángulo de abrazamiento polea menor
$\phi_{\sigma\tau}$	Ángulo de rotación de la partícula.
$\theta$	Ángulo de torsión. Pendiente en vigas. Ángulo de presión.
$\sigma_{ymv}$	Esfuerzo normal. Esfuerzo promedio. Esfuerzo variable.
$\rho$	Relación de velocidad.
$\tau$	Esfuerzo cortante.
$\omega$	Velocidad angular.
$\lambda$	Coefficiente de dilatación lineal.
$\mu$	Viscosidad cinemática.

# INTRODUCCIÓN

---

## Metodología

---

El libro se divide en cuatro partes. La primera se enfoca en la forma simplificada de la “Filosofía del diseño”, tratando de presentarla lo más sencilla posible para que se comprenda con facilidad; también integra problemas de aplicación en los que el estudiante tendrá que dar una solución simple sin involucrar cálculos complejos; más bien son para activar el ingenio y la imaginación.

La segunda parte incluye los conocimientos necesarios para comprender el Diseño mecánico; es un repaso para recordar los temas base de éste, entre los que destacan: Estática, Dinámica, Ciencia de materiales y Resistencia de materiales.

La tercera parte está conformada por los temas de Diseño mecánico en los que se explican las metodologías de los tópicos contemplados en los programas, así como algunos no incluidos, entre los que destacan: Tornillo y corona sinfín, Frenos y embragues, y Tornillos de potencia, entre otros.

La cuarta parte es la más importante para la fabricación de los sistemas que se diseñen; se trata de los temas sobre dibujo normalizado que permiten traducir la serie de cálculos a un lenguaje gráfico universal, y se agrega un tópico especial: “Ajustes y tolerancias” (vital para la manufactura), así como algunos problemas de aplicación.





# CONTENIDO

---

Prefacio .....	5
Agradecimientos .....	7
Acerca del autor .....	9
Nomenclatura .....	11
Introducción .....	15

## PARTE I. EL PROCESO DEL DISEÑO MECÁNICO..... 27

### CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DEL DISEÑO MECÁNICO ..... 29

1.1. EL PROCESO DEL DISEÑO MECÁNICO.....	29
1.2. CÓMO SE REALIZA UN PROYECTO (METODOLOGÍA) .....	30
1.2.1. Necesidad .....	31
1.2.2. Proyecto .....	31
1.2.3. Iteración y desarrollos.....	31
1.2.4. Retroalimentación.....	32
1.2.5. Solución parcial o total .....	32
1.2.6. Conclusiones .....	32
1.3. UN ENFOQUE HACIA LA INGENIERÍA EN MECATRÓNICA.....	33
1.3.1. Profundidad del proceso en el área .....	33
1.3.2. Diferencias y coincidencias con el área mecánica .....	33
1.4. APLICACIONES .....	34

PARTE II. CONOCIMIENTOS PREVIOS NECESARIOS .....	37
CAPÍTULO 2. TEMAS DE ESTÁTICA Y DINÁMICA.....	39
2.1. EQUILIBRIO ESTÁTICO Y DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA CUERPO RÍGIDO .....	39
2.1.1. Equilibrio (Tercera Ley de Newton) .....	39
2.1.2. Diagrama de cuerpo libre .....	40
2.2. EQUILIBRIO EN SISTEMAS MECÁNICOS.....	40
2.2.1. Equilibrio estático .....	41
2.2.2. Algo importante.....	46
2.3. DINÁMICA Y EQUILIBRIO DINÁMICO .....	48
2.3.1. Cinemática de partículas .....	49
2.3.1.1. Movimiento rectilíneo .....	49
2.3.1.2. Movimiento curvilíneo .....	58
2.3.1.3. Movimiento dependiente .....	77
2.3.2. Cinemática de cuerpo rígido.....	80
2.3.2.1. Conceptos básicos .....	81
2.3.2.2. Movimiento angular (rotación en torno a un eje fijo) .....	83
2.3.2.3. Movimiento relativo .....	90
2.3.2.4. Movimiento general de un cuerpo rígido .....	94
2.3.2.5. Centro instantáneo de rotación .....	100
CAPÍTULO 3. TEMAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES..	111
3.1. CONCEPTOS BÁSICOS .....	111
3.1.1. La ciencia de materiales para el ingeniero en Mecatrónica .....	111
3.1.2. Conceptos básicos de la mecánica de materiales .....	112
3.2. EL CONCEPTO DE ESFUERZO .....	119
3.2.1. Introducción .....	119
3.2.2. Carga axial y esfuerzo normal .....	119
3.2.3. Esfuerzo cortante .....	120
3.2.4. Esfuerzo de aplastamiento .....	121
3.2.5. Esfuerzos debidos a cambios de temperatura .....	123
3.3. TORSIÓN .....	126
3.3.1. Introducción.....	126

3.3.2. Torsión en elementos circulares . . . . .	127
3.3.3. Torsión de secciones no circulares . . . . .	131
3.3.4. Sección de pared delgada circular (cilindros) . . . . .	133
3.3.5. Elementos estáticamente indeterminados . . . . .	135
3.4. FLEXIÓN . . . . .	137
3.4.1. Introducción. . . . .	137
3.4.2. Discusión de los esfuerzos en flexión pura . . . . .	140
3.4.3. Deformaciones en un elemento simétrico en flexión pura . . . . .	142
3.4.4. Esfuerzos y deformaciones en la zona elástica . . . . .	148
3.4.5. Deflexión de vigas . . . . .	155
3.4.5.1. Ecuación de la curva elástica. . . . .	158
3.4.5.2. Por integración . . . . .	158
3.4.5.3. Por viga conjugada . . . . .	161
3.5. ESFUERZOS COMBINADOS . . . . .	166
3.5.1. Introducción. . . . .	166
3.5.2. Teorías de falla . . . . .	166
3.5.2.1. Fractura frágil y dúctil. . . . .	166
3.5.2.2. Principales teorías de falla . . . . .	168
3.5.3. Combinación de esfuerzos axiales y por flexión . . . . .	176
3.5.4. Círculo de Mohr . . . . .	184
3.5.5. Combinación de esfuerzos por flexión y por torsión . . . . .	190
3.5.6. Combinación de esfuerzos por cargas axiales, por flexión y por torsión . . . . .	196
3.6. COLUMNAS . . . . .	197
3.6.1. Introducción. . . . .	197
3.6.2. Estabilidad de estructuras. . . . .	197
3.6.3. Fórmula de Euler para columnas de extremos articulados . . . . .	198
3.6.4. Fórmulas empíricas para columnas (AISC) . . . . .	207

## PARTE III. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. . . . . 213

### CAPÍTULO 4. METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS . . . . . 215

4.1. GENERALIDADES . . . . .	215
4.1.1. El proceso del diseño mecánico para el ingeniero en Mecatrónica . . . . .	215
4.1.1.1. ¿Cómo se realiza un proyecto? . . . . .	216

4.2. DISEÑO DE ELEMENTOS POR FATIGA .....	219
4.2.1. Criterios de diseño .....	220
4.2.1.1. Factor de seguridad .....	220
4.2.1.2. Rangos de valores del factor de seguridad para algunos casos de diseño .....	221
4.2.2. Cargas variables .....	226
4.2.2.1. Diseño de elementos de máquinas por su resistencia .....	226
4.2.2.2. Relación entre resistencia última a tensión y resistencia a la fatiga. ....	228
4.2.2.3. Resistencia a la fatiga por carga reversible en elementos sujetos a flexión. ....	229
4.2.3. Métodos de análisis por fatiga. ....	231
4.2.3.1. Método de Gerber .....	231
4.2.3.2. Método de Goodman. ....	232
4.2.3.3. Método de Soderberg .....	232
4.3. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS EN PIEZAS MECÁNICAS. ....	233
4.3.1. Factores de concentración de esfuerzo .....	235
4.3.2. Sensibilidad de la entalla. ....	235
4.3.2.1. Optimización .....	244
4.4. TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR RUEDAS DENTADAS .....	246
4.4.1. Metodología para el cálculo de ruedas dentadas rectas (método métrico) ...	246
4.4.1.1. Cálculo del número de dientes .....	247
4.4.1.2. Cálculo aproximado del tamaño del diente .....	247
4.4.1.3. Aplicando la teoría de la fatiga .....	249
4.4.2. Diseño de engranes por Lewis y Buckingham .....	267
4.4.3. Metodología para el cálculo de ruedas dentadas helicoidales (método métrico). ....	283
4.4.3.1. Cálculo del número de dientes. ....	283
4.4.3.2. Cálculo aproximado del tamaño del diente. ....	284
4.4.3.3. Aplicando la teoría de la fatiga .....	286
4.4.4. Metodología para el cálculo de ruedas dentadas cónicas rectas .....	294
4.5. TRANSMISIONES FLEXIBLES. ....	302
4.5.1. Transmisión mediante poleas y bandas trapezoidales .....	303
4.5.1.1. Ventajas al usar transmisiones con bandas .....	304
4.5.1.2. Desventajas .....	305
4.5.1.3. Fuerzas inducidas en una transmisión por bandas. ....	305
4.5.1.3.1. Análisis para banda plana .....	305
4.5.1.3.2. Análisis para banda trapezoidal. ....	309

4.5.1.4. Esquema de cálculo para la selección de bandas trapezoidales (Hi-Power y Hi-Capacity) . . . . .	313
4.5.2. Transmisión por banda y poleas dentadas . . . . .	325
4.5.2.1. Esquema de cálculo . . . . .	325
4.5.3. Transmisión de potencia por medio de cables . . . . .	335
4.5.3.1. Transmisión por cables metálicos . . . . .	339
4.5.4. Cadenas metálicas . . . . .	346
4.5.4.1. Transmisión con cadenas de rodillos . . . . .	346
4.6. ÁRBOLES DE TRANSMISIÓN . . . . .	356
4.6.1. Cálculo de árboles por resistencia . . . . .	357
4.6.1.1. Método de Soderberg . . . . .	357
4.6.1.2. Método del código ASME . . . . .	368
4.6.2. Verificación por rigidez lateral . . . . .	372
4.6.3. Verificación por rigidez torsional . . . . .	379
4.6.4. Verificación por velocidad crítica . . . . .	382
4.7. ELEMENTOS DE UNIÓN . . . . .	385
4.7.1. Chavetas . . . . .	385
4.7.1.1. Cálculo por corte . . . . .	386
4.7.1.2. Cálculo por aplastamiento . . . . .	387
4.7.2. Acoplamientos . . . . .	390
4.7.2.1. Rígidos . . . . .	390
4.7.2.2. Flexibles . . . . .	394
4.8. UNIONES SOLDADAS Y REMACHADAS . . . . .	399
4.8.1. Soldadura . . . . .	399
4.8.1.1. Uniones con carga centrada (axial) . . . . .	400
4.8.1.2. Uniones con carga excéntrica . . . . .	405
4.8.2. Remaches (tornillos) . . . . .	414
4.8.2.1. Uniones con carga centrada (axial) . . . . .	415
4.8.2.2. Análisis de remaches por carga excéntrica . . . . .	419
4.9. RESORTES . . . . .	426
4.9.1. Generalidades . . . . .	426
4.9.2. Resortes planos . . . . .	427
4.9.3. Resortes de ballestas . . . . .	428
4.9.4. Resortes espirales . . . . .	431
4.9.5. Resortes helicoidales . . . . .	432
4.9.5.1. Resortes a tensión o compresión . . . . .	432
4.9.5.2. Resortes a torsión . . . . .	439
4.10. COJINETES . . . . .	442
4.10.1. Selección de rodamientos . . . . .	442

4.10.1.1. Árboles sin carga axial . . . . .	445
4.10.1.2. Árboles con carga axial . . . . .	446
4.10.2. Cojinetes en deslizamiento . . . . .	451
CAPÍTULO 5. TÓPICOS SELECTOS DE DISEÑO DE MÁQUINAS . . . . .	463
5.1. CÁLCULO DE CORONA Y TORNILLO SIN FÍN . . . . .	463
5.2. CÁLCULO DE RECIPIENTES A PRESIÓN . . . . .	474
5.2.1. Cilindros de pared delgada . . . . .	475
5.2.2. Cilindros de pared gruesa . . . . .	485
5.3. FRENOS Y EMBRAGUES . . . . .	493
5.3.1. Introducción. . . . .	493
5.3.2. Clasificación de los frenos y embragues . . . . .	493
5.3.2.1. Tipos y clasificación básica . . . . .	493
5.3.3. Embragues. . . . .	497
5.3.3.1. Embragues de discos múltiples . . . . .	497
5.3.3.2. Embragues cónicos . . . . .	503
5.3.4. Frenos . . . . .	508
5.3.4.1. Frenos de zapata exterior . . . . .	508
5.3.4.2. Frenos de tambor de zapata interna. . . . .	520
5.4. CÁLCULO DE TORNILLOS DE POTENCIA . . . . .	528
5.4.1. Rosca ACME (inglesa) . . . . .	529
5.4.2. Rosca trapecoidal 30° (métrica) . . . . .	533
PARTE IV. DIBUJO NORMALIZADO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS . . . . .	539
CAPÍTULO 6. DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO . . . . .	541
6.1. EL DIBUJO COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN . . . . .	541
6.2. NORMAS PRINCIPALES PARA DIBUJOS SIMPLES, SEGÚN ISO Y NOM . . . . .	542
6.2.1. Normas para vistas (las necesarias y sus posiciones en un dibujo) . . . . .	542
6.2.1.1. Sistemas de dibujo . . . . .	542
6.2.2. Vistas auxiliares . . . . .	545

6.2.2.1. Posición para el sistema americano . . . . .	546
6.2.2.2. Posición para el sistema europeo . . . . .	547
6.2.3. Detalles (lo mismo para ambos sistemas) . . . . .	547
6.2.3.1. Designación . . . . .	547
6.2.3.2. Línea y forma de indicar un detalle . . . . .	548
6.2.4. Líneas . . . . .	548
6.2.4.1. Tipos de líneas utilizadas en dibujo mecánico . . . . .	548
6.2.4.2. Espesores y aplicaciones más frecuentes . . . . .	549
6.2.5. Cortes y secciones. . . . .	550
6.2.5.1. ¿Qué es un corte? . . . . .	550
6.2.5.2. ¿Qué es una sección? . . . . .	550
6.2.5.3. ¿Cuándo se debe hacer un corte? . . . . .	551
6.2.5.3.1. Indicación de un corte en una vista principal . . . . .	551
6.2.5.3.2. Posición del corte según el diedro. . . . .	552
6.2.5.3.3. Tipos de corte . . . . .	553
6.2.5.3.3.1. Parciales . . . . .	553
6.2.5.3.3.2. Corte por planos concurrentes . . . . .	555
6.2.5.3.3.3. Corte por planos ortogonales . . . . .	555
6.2.5.3.4. Tipos de achurados . . . . .	556
6.2.5.3.4.1. Según el material . . . . .	556
6.2.5.3.4.2. Cuando se corta un ensamble. . . . .	558
6.2.5.4. ¿Cuándo se debe dibujar una sección? . . . . .	558
6.2.5.4.1. Indicación de una sección . . . . .	559
6.2.5.4.2. Designación cuando no está en posición. . . . .	559
6.2.6. Aplicaciones a piezas simples . . . . .	560
6.2.6.1. Dibujar vistas, cortes y secciones necesarias para las piezas siguientes. . . . .	560
6.3. REPRESENTACIONES BÁSICAS DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS. . . . .	561
6.3.1. Tipos de roscas y su representación convencional según normas . . . . .	561
6.3.2. Tornillería y uniones comunes . . . . .	562
6.3.3. Chavetas y pasadores . . . . .	564
6.3.4. Resortes. . . . .	564
6.3.5. Remaches . . . . .	565
6.3.6. Soldadura . . . . .	565
6.3.7. Poleas . . . . .	567
6.3.8. Cadenas y catarinas ( <i>sprokets</i> ) . . . . .	568
6.3.9. Engranés . . . . .	569
6.3.9.1. Engranés rectos . . . . .	569
6.3.9.2. Engranés helicoidales . . . . .	570



6.3.9.3. Engranés cónicos .....	570
6.3.9.4. Tornillo y corona sin fin .....	571
6.3.10. Casos especiales .....	572
6.3.11. Aplicación: dibujo de una transmisión simple .....	573
CAPÍTULO 7. AJUSTES Y TOLERANCIAS .....	575
7.1. GENERALIDADES .....	575
7.1.1. Reglas principales de dimensionamiento .....	575
7.1.2. Acabados superficiales .....	584
7.1.3. Intercambiabilidad y grados de calidad .....	586
7.1.3.1. Intercambiabilidad .....	586
7.2. AJUSTES .....	587
7.2.1. Ajustes y tolerancias .....	587
7.2.1.1. ¿Qué es un ajuste? .....	588
7.2.1.2. Ajustes con juego .....	588
7.2.1.3. Ajustes inciertos .....	588
7.2.1.4. Ajustes con interferencia .....	589
7.3. TOLERANCIAS DIMENSIONALES .....	589
7.3.1. Intervalo de tolerancia (según grado de calidad) .....	589
7.3.1.1. Cálculo de tolerancias .....	590
7.3.2. Sistema de ajustes agujero-base .....	591
7.3.3. Sistema de ajustes árbol-base .....	592
7.3.4. Elección de un sistema de ajuste .....	592
7.3.4.1. Reglas para la elección .....	592
7.4. TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS (DE FORMA O POSICIÓN) .....	596
7.4.1. Tolerancias geométricas de forma .....	597
7.4.1.1. Rectilinidad .....	597
7.4.1.2. Planicidad .....	597
7.4.1.3. Circularidad .....	597
7.4.1.4. Cilindricidad .....	598
7.4.1.5. Exactitud de una línea cualquiera .....	598
7.4.1.6. Exactitud de una superficie cualquiera .....	598
7.4.2. Tolerancias geométricas de posición .....	599
7.4.2.1. Angularidad .....	600
7.4.2.2. Paralelismo .....	600
7.4.2.3. Concentricidad .....	600
7.4.2.4. Perpendicularidad .....	600

---

---

7.4.2.5. Posición .....	600
7.4.2.6. Simetría .....	600
7.4.2.7. Alabeo circular .....	600
7.4.2.8. Alabeo cilíndrico .....	601
7.5. APLICACIÓN A ELEMENTOS MECÁNICOS .....	603
7.5.1. Determinación de las tolerancias según el ajuste elegido .....	603
7.5.2. Transmisión de potencia de un engrane montado por interferencia .....	607
7.5.2.1. Fuerza axial para acoplamiento .....	609
7.5.2.2. Cálculo de las tolerancias necesarias .....	610

## APÉNDICES

A. CATÁLOGOS Y FORMULARIO .....	615
B. TABLAS DE TOLERANCIAS .....	633
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....	661



# PARTE I

---

## EL PROCESO DEL DISEÑO MECÁNICO

---



# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUCCIÓN AL PROCESO DEL DISEÑO MECÁNICO

---

Desde épocas remotas el ser humano ha requerido crear sistemas para cubrir las necesidades de la vida de manera cotidiana. Desde esos tiempos fue necesario establecer principios de cómo producir esos satisfactores, los cuales se han convertido actualmente en asuntos cotidianos. A todo el proceso para generar dichos satisfactores se le ha implementado una metodología, que se describe en este capítulo y que se recomienda usar cuando se trate de crear un producto, que por lo regular se llama *parcial* o *definitivo*.

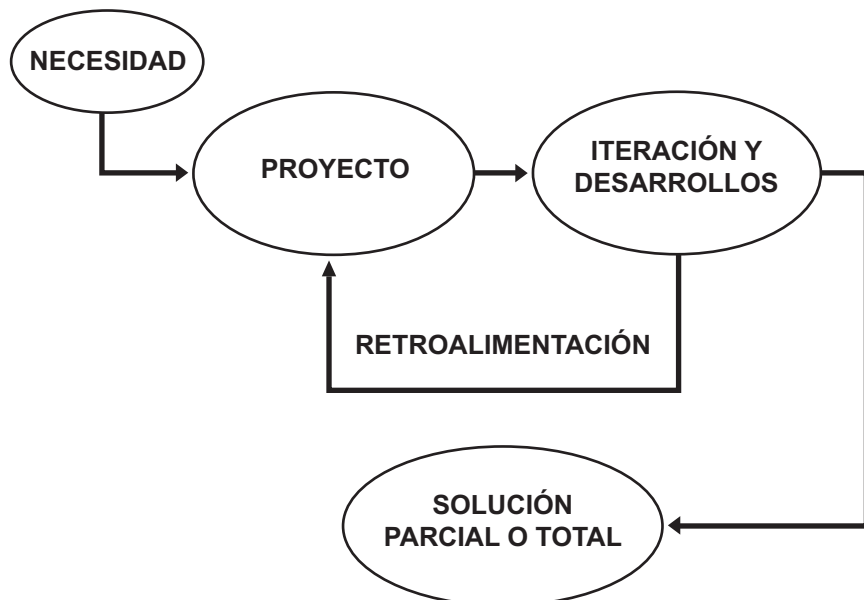
### 1.1. EL PROCESO DEL DISEÑO MECÁNICO

El desarrollo de un sistema para satisfacer una *necesidad* se conoce como *satisfactor*, y si esta necesidad requiere de una *máquina*, el proceso de diseño es *mecánico*, para el cual se requiere de todos los conocimientos adquiridos en la formación de un ingeniero mecánico. Cuando esto culmina, se tiene un producto mecánico, el cual consta (en primera instancia) de

una *memoria de cálculo* y una serie de *dibujos normalizados*, que permitirán construirlo si se cuenta con los recursos humanos, la infraestructura y el capital para ello, sin necesidad de consultar al diseñador, salvo para detalles especializados o problemas que surjan durante el proceso de fabricación.

## 1.2. CÓMO SE REALIZA UN PROYECTO (METODOLOGÍA)

Al desarrollar un producto o sistema para satisfacer una necesidad, se está realizando un proyecto; esto no es simplemente elaborar algo de manera empírica que cumpla con dicha necesidad, requiere un proceso o una metodología para su desarrollo, lo cual se puede representar por medio del esquema de la figura 1.1.



**Figura 1.1.** Cómo se realiza un proyecto.

### 1.2.1. Necesidad

Es la razón por la cual se desarrolla un producto: para satisfacerla; ésta puede ser producto de una idea (mejorar lo existente) o de un problema por solucionar.

### 1.2.2. Proyecto

Es el proceso del diseño e involucra:

1. Ideas
2. Planteamientos
3. Croquis y bosquejos
4. Propuestas de mecanismos y sistemas
5. Cálculos:
  - a) Estática
  - b) Dinámica
  - c) Resistencia de materiales
  - d) Diseño de elementos
  - e) Electricidad
  - f) Electrónica
  - g) Control
    - i. Visión artificial
    - ii. Sensores
  - h) Programación
6. Dibujos de ingeniería
  - a) Dibujos de detalle
  - b) Dibujos de ensamble

### 1.2.3. Iteración y desarrollos

Se refiere a la creación de los prototipos de las ideas, en los que se puede apreciar qué tanto (en porcentaje) cada uno de ellos satisface la necesidad; si el prototipo no es adecuado, se hace una *retroalimentación* para generar cambios en el proceso de



diseño; de esta manera existen las *iteraciones*. Aquí se involucran conocimientos de:

1. Procesos de fabricación
2. Desarrollo y organización de planta
  - a) Almacén
  - b) Departamentos

#### 1.2.4. Retroalimentación

Según satisfaga la propuesta a la necesidad, los aciertos y los errores permiten retroalimentar el proceso del diseño para realizar correcciones y mejoras a las ideas y propuestas de solución.

#### 1.2.5. Solución parcial o total

Es el producto terminado; puede tratarse de un objeto o un servicio y ser *parcial*, cuando forma parte de un proyecto mayor (por ejemplo una fábrica de resortes que produce un tipo de resorte específico para otra que desarrolla un producto que lo requiere), o *total*, cuando dicho objeto se vende al consumidor final.

En esta fase se desarrollan las siguientes actividades:

- a) Empaque de los productos (embalaje)
- b) Desarrollo de manuales de uso y (en su caso) de mantenimiento
- c) Almacenamiento
- d) Distribución
- e) Retiro del producto del mercado

#### 1.2.6. Conclusiones

En este caso se puede concluir que elaborar un proyecto que involucre *elementos mecánicos*, no es simplemente comenzar a dibujar líneas y fabricar piezas de manera desorganizada: es

<https://www.ipn.mx/bibliotecas-publicaciones/>