

TABLA P9-0**Matriz de temas/
problemas**

- 9.2 Ley fundamental de engranaje**
9-4, 9-46, 9-47, 9-49,
9-50, 9-51, 9-66, 9-67,
9-68
- 9.3 Nomenclatura de diente del engrane**
9-1, 9-2, 9-3, 9-48,
9-53, 9-54, 9-69, 9-70
- 9.4 Interferencia y socavado**
9-5, 9-55, 9-56, 9-57,
9-58
- 9.5 Relación de contacto**
9-59, 9-60, 9-72
- 9.6 Tipos de engrane**
9-23, 9-24, 9-61, 9-62
- 9.7 Trenes de engranes simples**
9-6, 9-7, 9-8, 9-9, 9-73
- 9.8 Trenes de engranes compuestos**
9-10, 9-11, 9-12, 9-13,
9-14, 9-15, 9-16, 9-17,
9-18, 9-29, 9-30, 9-31,
9-32, 9-33, 9-71
- 9.9 Trenes de engranes epicíclicos o planetarios**
9-25, 9-26, 9-27, 9-28,
9-36, 9-38, 9-39, 9-41,
9-42, 9-43
- 9.10 Eficiencia de trenes de engranes**
9-35, 9-37, 9-40,
9-63, 9-64, 9-65
- 9.11 Transmisiones**
9-19, 9-20, 9-21,
9-22, 9-34, 9-44

rencial. Estos diferenciales se utilizan en muchos vehículos AWD, incluido el vehículo de ruedas de usos múltiples de alta movilidad del ejército (Army's High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle, HMMWV) conocido como "Humvee" o "Hummer".

9.13 REFERENCIAS

- 1 **Dilpare, A. L.** (1970). "A Computer Algorithm to Design Compound Gear Trains for Arbitrary Ratio". *J. of Eng. for Industry*, **93B** (1), pp. 196-200.
- 2 **Selfridge, R. C. y D. L. Riddle** (1978). "Design Algorithms for Compound Gear Train Ratios". ASME Paper: 78-DET-62.
- 3 **Levai, Z.** (1968). "Structure and Analysis of Planetary Gear Trains". *Journal of Mechanisms*, **3**, pp. 131-148.
- 4 **Molian, S.** (1982), *Mechanism Design: An Introductory Text*. Cambridge University Press: Cambridge, p. 148.
- 5 **Auksmann, B. y D. A. Morelli** (1963), "Simple Planetary-Gear System". ASME Paper: 63-WA-204.
- 6 **Pennestri, E. y cols.** (1993), "A Catalog of Automotive Transmissions with Kinematic and Power Flow Analyses". *Proc. of 3rd. Applied Mechanisms and Robotics Conference*, Cincinnati, pp. 57-61.

9.14 BIBLIOGRAFÍA

Sitios web útiles para información sobre transmisiones de engranes, banda o cadena.

- <http://www.howstuffworks.com/gears.htm>
http://www.efunda.com/DesignStandards/gears/gears_introduction.cfm
<http://www.oit.doe.gov/bestpractices/pdfs/motor3.pdf>
<http://www.gates.com/index.cfm>
<http://www.bostongear.com/>
<http://www.martinsprocket.com/>

9.15 PROBLEMAS†

- *9-1 Un engrane de 24 dientes tiene dientes en involuta de profundidad completa estándar AGMA con paso diametral de 5. Calcule el diámetro de paso, el paso circular, la cabeza, la raíz, el espesor del diente y la holgura.
- *9-2 Un engrane de 40 dientes con p_d de 10 tiene dientes en involuta de profundidad completa estándar AGMA. Calcule el diámetro de paso, el paso circular, la cabeza, la raíz, el espesor del diente y la holgura.
- *9-3 Un engrane de 30 dientes con p_d de 12 tiene dientes en involuta de profundidad completa estándar AGMA. Calcule el diámetro de paso, el paso circular, la cabeza, la raíz, el espesor del diente y la holgura.
- 9-4 Con cualquier cuerda disponible, alguna cinta, un lápiz, un vaso o una lata de estaño, genere y dibuje una curva involuta en una hoja de papel. Con su transportador, demuestre que todas las normales a la curva son tangentes al círculo base.
- *9-5 Un engranaje cilíndrico recto debe tener diámetros de paso de 2.5 y 8 pulgadas. ¿Cuál es el tamaño del diente estándar más grande, en función del paso diametral p_d , que puede utilizarse sin ninguna interferencia o socavado? Encuentre el número de dientes en el engrane y piñón fresados con este p_d .
- a) Con un ángulo de presión de 20° .
- b) Con un ángulo de presión de 25° . (Obsérvese que el paso diametral no necesita ser entero.)
- *9-6 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo simple con una relación de $-7:1$ y paso diametral de 10. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Calcule la relación de contacto.
- *9-7 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo simple con una relación de $+6:1$ y paso diametral de 5. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Calcule la relación de contacto.
- *9-8 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo simple con una relación de $-7:1$ y paso diametral de 8. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Calcule la relación de contacto.
- *9-9 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo simple con una relación de $+6.5:1$ y paso diametral de 5. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Calcule la relación de contacto.

* Todas las figuras de los problemas vienen como archivos PDF en el DVD, y algunas también vienen como archivos Working Model animados. Los nombres de los archivos PDF son los mismos del número de la figura. Ejecute el archivo Animations.html para acceder a y ejecutar las animaciones.

* Respuestas en el apéndice F.

† Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.

- *†9-10 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto con una relación de $-80:1$ y paso diametral de 12. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-11 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto con una relación de $50:1$ y paso diametral de 8. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- *†9-12 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto con una relación de $120:1$ y paso diametral de 5. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- *9-13 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto con una relación de $-250:1$ y paso diametral de 9. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- *†9-14 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto revertido con una relación de $28:1$ y paso diametral de 8. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-15 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto revertido con una relación de $40:1$ y paso diametral de 8. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- *†9-16 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto revertido con una relación de $65:1$ y paso diametral de 8. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-17 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto revertido con una relación de $7:1$ y paso diametral de 4. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-18 Diseñe un tren de engranes cilíndricos rectos del tipo compuesto revertido con una relación de $12:1$ y paso diametral de 6. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- *†9-19 Diseñe una caja de transmisión con engranes cilíndricos rectos, del tipo compuesto revertido, que genere dos relaciones cambiables de $+3:1$ hacia delante y de $-4.5:1$ en reversa con paso diametral de 6. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-20 Diseñe una caja de transmisión de engranes cilíndricos rectos, del tipo compuesto, revertido, que genere dos relaciones cambiables de $+5:1$ hacia delante y de $-3.5:1$ en reversa con paso diametral de 6. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- *†9-21 Diseñe una caja de transmisión de engranes cilíndricos rectos, del tipo compuesto, revertido, que genere tres relaciones cambiables de $+6:1$, $3.5:1$ hacia adelante y de $-4:1$ en reversa con paso diametral de 8. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-22 Diseñe una caja de transmisión de engranes cilíndricos rectos, del tipo compuesto, revertido, que genere tres relaciones cambiables de $+4.5:1$, $+2.5:1$ hacia adelante y de $-3.5:1$ en reversa con paso diametral de 5. Especifique los diámetros de paso y el número de dientes. Dibuje el tren a escala.
- †9-23 Diseñe los conos rodantes con una relación de $-3:1$ y un ángulo incluido de 60° entre los ejes. Dibuje el tren a escala.
- †9-24 Diseñe los conos rodantes con una relación de $-4.5:1$ y un ángulo incluido de 40° entre los ejes. Dibuje el tren a escala.
- *†9-25 La figura P9-1 muestra un tren de engranes planetarios del tipo compuesto (no a escala). La tabla P9-1 contiene datos de número de dientes y velocidades de entrada. Para la fila o filas asignadas, encuentre la variable representada por un signo de interrogación.
- *†9-26 La figura P9-2 muestra un tren de engranes planetarios del tipo compuesto (no a escala). La tabla P9-2 contiene datos de número de dientes y velocidades de entrada. Para la fila o filas asignadas, encuentre la variable representada por un signo de interrogación.
- *†9-27 La figura P9-3 (p. 362) muestra un tren de engranes planetarios utilizado en un diferencial trasero automotriz (no a escala). El auto

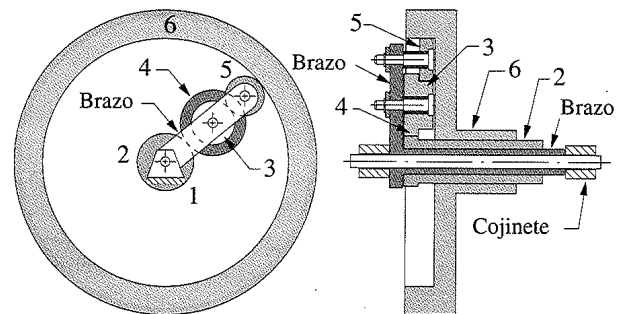


FIGURA P9-1 Engranajes planetarios del ejemplo 9-25

TABLA P9-1 Datos para el problema 9-25

Fila	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	ω_2	ω_6	ω_{brazo}
a	30	25	45	50	200	?	20	-50
b	30	25	45	50	200	30	?	-90
c	30	25	45	50	200	50	0	?
d	30	25	45	30	160	?	40	-50
e	30	25	45	30	160	50	?	-75
f	30	25	45	30	160	50	0	?

* Respuestas en el apéndice F.
 † Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.

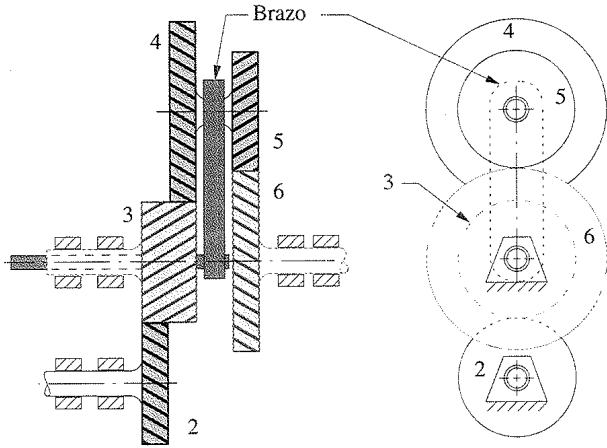


FIGURA P9-2 Tren de engranes planetarios compuesto del problema 9-26

tiene ruedas con radio de rodamiento de 16 pulgadas y se mueve hacia adelante en línea recta a 55 mph. El motor gira a 2 500 rpm. La transmisión está en tracción directa (1:1) con el eje de transmisión principal.

- a) ¿Cuál es la velocidad en rpm de las ruedas traseras? y ¿cuál es la relación de engranes entre el engrane anular y el piñón?
- b) Cuando el auto llega a un tramo de carretera cubierto de hielo, la rueda derecha se acelera a 800 rpm. ¿Cuál es la velocidad de la rueda izquierda? (Sugerencia: Las rpm promedio de ambas ruedas es una constante.)
- c) Calcule el valor fundamental del tren de la etapa epicíclica.

†9-28 Diseñe una caja de engranes planetarios reductores de velocidad que se utilizarán para levantar una carga de 5 ton a 50 pies, con un motor que desarrolla 20 lb-pie de par a su velocidad de operación de 1 750 rpm. El tambor del montacargas de cable disponible no tiene más de 16 pulgadas de diámetro cuando su cable de acero está totalmente enrollado en él. El diámetro del reductor de velocidad no deberá ser mayor que el tambor del montacarga. Se

requieren engranes con no más de 75 dientes y que el paso diametral no sea menor de 6 para soportar los esfuerzos. Trace bosquejos de vistas múltiples del diseño y muestre todos los cálculos. ¿Cuánto tiempo se requerirá para levantar la carga con su diseño?

*†9-29 Determine todas las combinaciones de engranes compuestos de dos etapas posibles que se aproximen a la base neperiana 2.71828. Limite los números de dientes a entre 18 y 80 dientes. Determine el arreglo que produzca el error más pequeño.

TABLA P9-2 Datos para el problema 9-26

Fila	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	ω_2	ω_6	ω_{brazo}
a	50	25	45	30	40	?	20	- 50
b	30	35	55	40	50	30	?	- 90
c	40	20	45	30	35	50	0	?
d	25	45	35	30	50	?	40	- 50
e	35	25	55	35	45	30	?	- 75
f	30	30	45	40	35	40	0	?

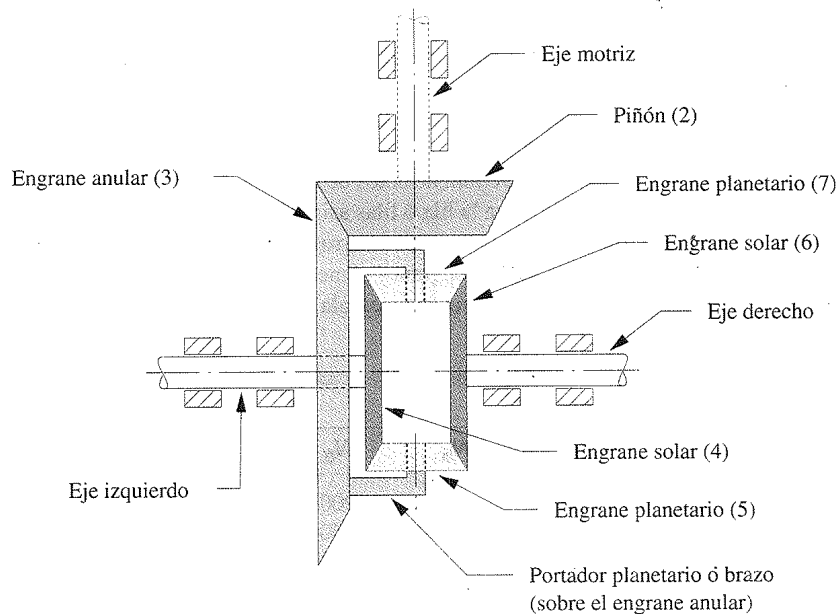


FIGURA P9-3 Tren de engranes planetarios de diferencial automotriz para el problema 9-27

* Respuestas en el apéndice F.
 † Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas Mathcad, Matlab o TKSolver.

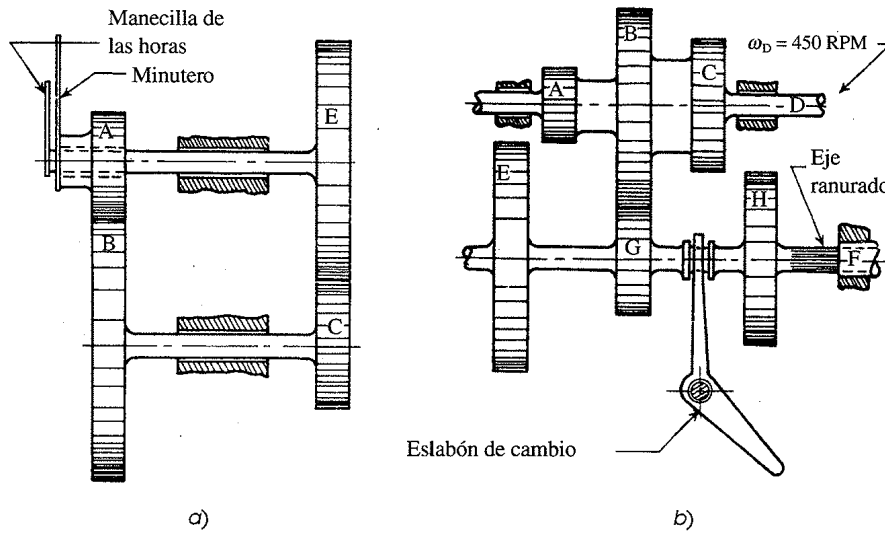


FIGURA P9-4 Problemas 9-33 a 9-34 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con autorización

- †9-30 Determine todas las combinaciones posibles de engranes compuestos de dos etapas que se aproximen a 2π . Limite los números de dientes a entre 15 y 90 dientes. Determine el arreglo que produzca el error más pequeño.
- †9-31 Determine todas las combinaciones posibles de engranes compuestos de dos etapas que se aproximen a $\pi/2$. Limite los números de dientes a entre 20 y 100 dientes. Determine el arreglo que produzca el error más pequeño.
- †9-32 Determine todas las combinaciones posibles de engranes compuestos de dos etapas que se aproximen a $3\pi/2$. Limite los números de dientes a entre 20 y 100 dientes. Determine el arreglo que produzca el error más pequeño.
- †9-33 La figura P9-4a muestra un tren de reloj revertido. Diseñelo con engranes que tengan un ángulo de presión nominal de 25° de $24 p_d$ de entre 12 y 150 dientes. Determine los números de dientes y la distancia entre centros nominal. Si la distancia entre centros tiene una tolerancia de fabricación de ± 0.0006 pulgadas, ¿cuál será el ángulo de presión y el juego entre dientes en el minutero en cada extremo de la tolerancia?
- †9-34 La figura P9-4b muestra una transmisión cambiabile de tres velocidades. El eje F , con el conjunto de engranes E, G y H es capaz de deslizarse de izquierda a derecha para acoplar y desacoplar los tres engranajes en turno. Diseñe las tres etapas revertidas que produzcan velocidades de salida del eje F de 150, 350 y 550 rpm para una velocidad de entrada de 450 rpm al eje D .
- *†9-35 La figura P9-5a muestra un tren epicíclico compuesto utilizado para impulsar un tambor de malacate. El engrane A es impulsado a 18 rpm en el sentido de las manecillas del reloj y el engrane D está

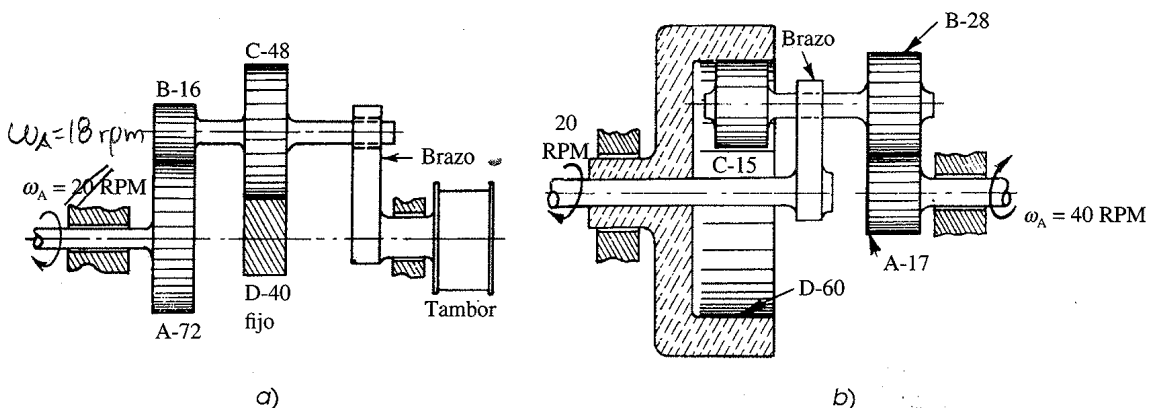


FIGURA P9-5 Problemas 9-35 a 9-36 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con permiso

* Respuestas en el apéndice F.
 † Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.

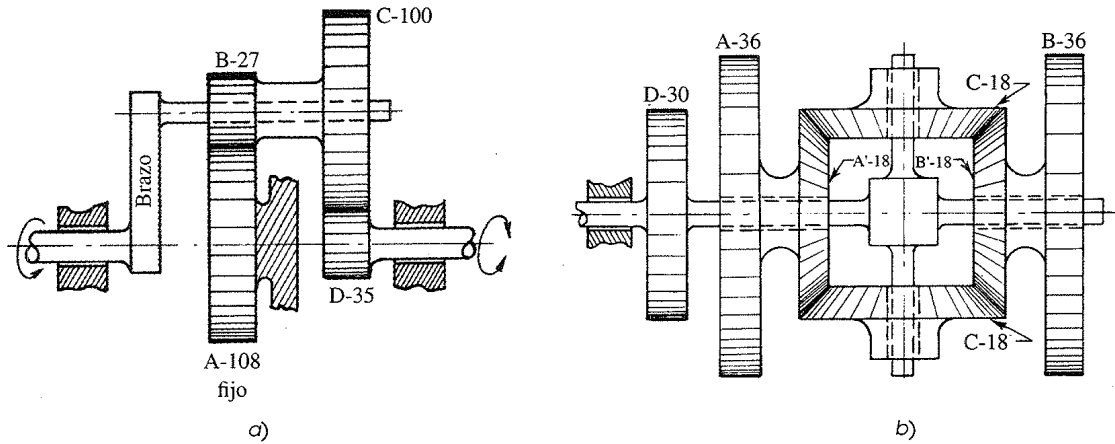


FIGURA P9-6 Problemas 9-37 a 9-38 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con permiso

fijo a la bancada. Los números de dientes se indican en la figura. Determine la velocidad y dirección del tambor. ¿Cuál es la eficiencia de este tren si los engranajes tienen $E_0 = 0.97$?

- †9-36 La figura P9-5b muestra un tren epicíclico compuesto con sus números de dientes. El brazo se impulsa a 20 rpm en sentido contrario al de las manecillas del reloj. El engrane A se impulsa a 40 rpm en el sentido de las manecillas del reloj. Encuentre la velocidad del engrane anular D.
- *†9-37 La figura P9-6a muestra un tren epicíclico. Los números de dientes se indican en la figura. El brazo es impulsado en sentido contrario al de las manecillas del reloj a 50 rpm y el engrane A en el eje 1 está fijo a la bancada. Encuentre la velocidad del engrane D en el eje 2. ¿Cuál es la eficiencia de este tren si los engranajes básicos tienen $E_0 = 0.96$?
- †9-38 La figura P9-6b muestra un diferencial con sus números de dientes. El engrane A se impulsa a 10 rpm en sentido contrario al de las manecillas del reloj y el engrane B se impulsa a 24 rpm en el sentido de las manecillas del reloj. Encuentre la velocidad del engrane D.
- *†9-39 La figura P9-7a muestra un tren de engranes que contiene tanto etapas revertidas compuestas como epicíclicas. Los números de dientes se indican en la figura. El motor es impulsado en el sentido de las manecillas del reloj a 1 500 rpm. Encuentre las velocidades de los ejes 1 y 2.
- †9-40 La figura P9-7b muestra un tren epicíclico utilizado para impulsar un tambor de malacate. El brazo es impulsado a 250 rpm en sentido contrario al de las manecillas del reloj y el engrane A del eje 2 está fijo a la bancada. Determine la velocidad y dirección del tambor en el eje 1. ¿Cuál es la eficiencia de este tren si los engranajes básicos tienen $E_0 = 0.98$?
- *†9-41 La figura P9-8 muestra un tren epicíclico. El engrane 2 es impulsado a a 600 rpm en el sentido de las manecillas del reloj y el engrane D está fijo a la bancada. Determine la velocidad y dirección de los engranes 1 y 3.

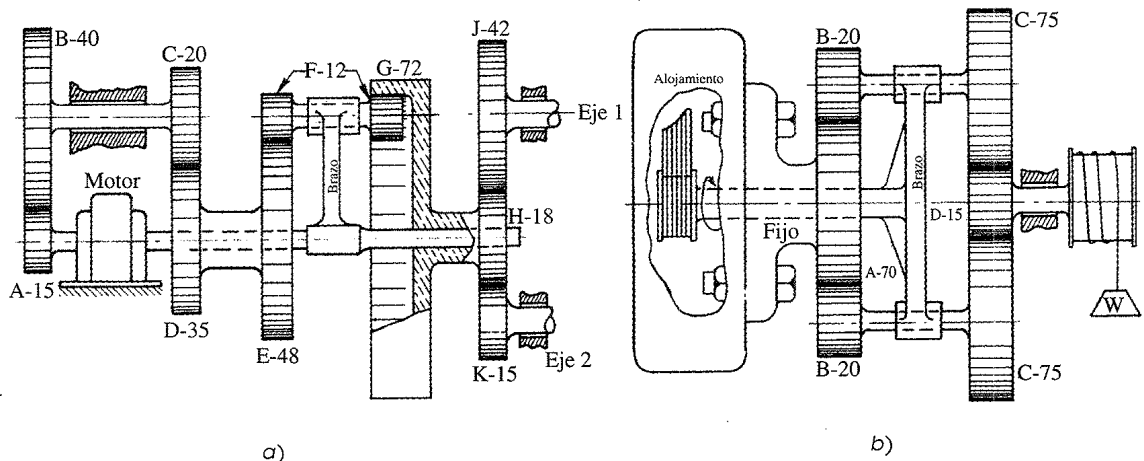


FIGURA P9-7 Problemas 9-39 a 9-40 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con permiso

* Respuestas en el apéndice F.
 † Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.

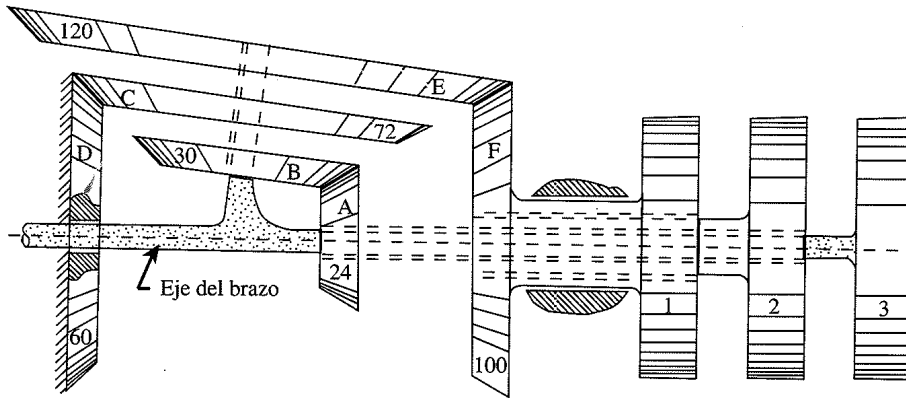


FIGURA P9-8 Problema 9-41 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con permiso

- †9-42 La figura P9-9 muestra un tren epíciclico compuesto. El eje 1 es impulsado a 300 rpm en sentido contrario al de las manecillas del reloj y el engrane A está fijo a la bancada. Los números de dientes se indican en la figura. Determine la velocidad y dirección del eje 2.
- *†9-43 La figura P9-10 (p. 366) muestra un tren epíciclico compuesto. El eje 1 es impulsado a 60 rpm. Los números de dientes se indican en la figura. Determine la velocidad y dirección de los engranes G y M.
- †9-44 Calcule las relaciones en la transmisión modelo T mostrada en la figura 9-48 (p. 357) y demuestre que los valores mostrados en la tabla adjunta son correctos.
- †9-45 Resuelva el problema 7-57 en la página 256.
- 9-46 La figura P9-11 (p. 366) muestra una involuta generada con un círculo base de radio r_b . El punto A está simultáneamente sobre el círculo base y la involuta. El punto B es cualquier punto en la curva involuta y el punto C está en el círculo base donde una línea trazada desde del punto B es tangente al círculo base. El punto O es el centro del círculo base. El ángulo ϕ_B (ángulo BOC) se conoce como *ángulo de presión en involuta* que corresponde al punto B (no confundirlo con el *ángulo de presión de dos engranes conectados*). El ángulo AOB se conoce como la *involuta de ϕ_B* y a menudo se designa como *inv ϕ_B* . Con la definición de diente en involuta y la figura 9-5 (p. 326), deduzca una ecuación para *inv ϕ_B* como una función de ϕ_B sola.
- 9-47 Con los datos y definiciones del problema 9-46, demuestre que cuando el punto B está en el círculo de paso, el *ángulo de presión en involuta* es igual al *ángulo de presión de dos engranes conectados*.
- 9-48 Con los datos y definiciones del problema 9-46 y con el punto B en el círculo de paso donde el ángulo de presión en involuta ϕ_B es igual al ángulo de presión ϕ de dos engranes conectados, deduzca la ecuación 9.4b (p. 330).
- 9-49 Con las figuras 9-6 y 9-7 (pp. 326-327), deduzca la ecuación 9-2 (p. 327), que se utiliza para calcular la longitud de acción de un par de engranes conectados.

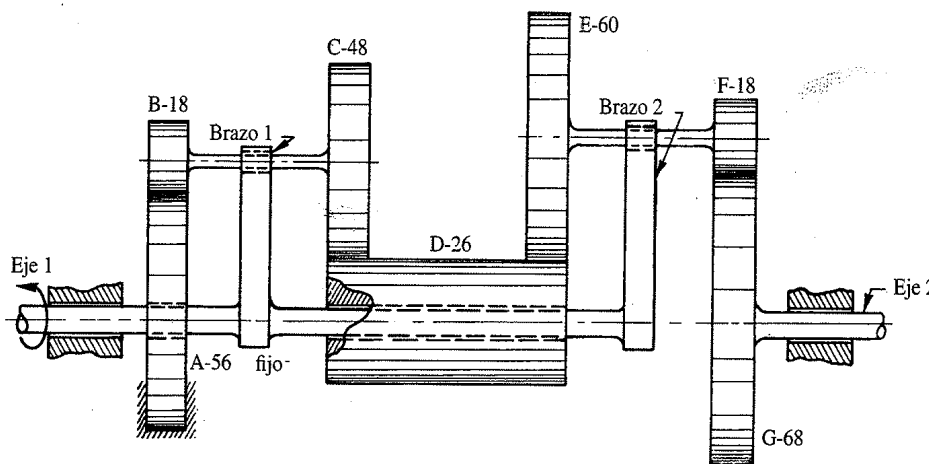


FIGURA P9-9 Problema 9-42 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con permiso

* Respuestas en el apéndice F.
 † Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.

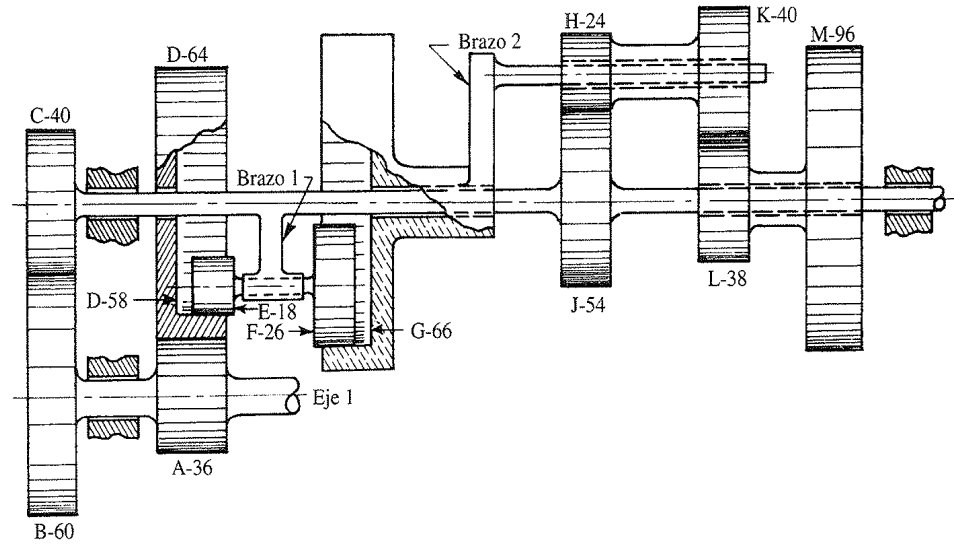


FIGURA P9-10 Problema 9-43 De P. H. Hill y W. P. Rule (1960). *Mechanisms: Analysis and Design*, con permiso

- †9-50 Se desea tener un juego entre dientes de 0.03 mm medido en el círculo de paso de un piñón de 40 mm de diámetro conectado con un engrane de 100 mm de diámetro. Si los engranes son estándar de profundidad total, con ángulos de presión de 25° , ¿en cuánto se deberá incrementar la distancia entre centros?
- †9-51 Se desea tener un juego entre dientes de 0.0012 pulgadas medido en el círculo de paso de un piñón de 2.000 pulgadas de diámetro conectado con un engrane de 5.000 pulgadas de diámetro. Si los engranes son estándar de profundidad total, con ángulos de presión de 25° , ¿en cuánto se deberá incrementar la distancia entre centros?
- †9-52 Un engrane de 22 dientes tiene dientes en involuta estándar de profundidad total con un módulo de 6. Calcule el diámetro de paso, el paso circular, la cabeza, la raíz, el espesor del diente y la holgura con las especificaciones AGMA de la tabla 9-1 (p. 330), si sustituye m en lugar de $1/p_d$.
- †9-53 Un engrane de 40 dientes tiene dientes en involuta estándar de profundidad total con un módulo de 3. Calcule el diámetro de paso, el paso circular, la cabeza, la raíz, el espesor del diente y la holgura con las especificaciones AGMA de la tabla 9-1 (p. 330), si sustituye m en lugar de $1/p_d$.
- †9-54 Un engrane de 30 dientes tiene dientes en involuta estándar de profundidad completa con un módulo de 2. Calcule el diámetro de paso, el paso circular, la cabeza, la raíz, el espesor del diente y la holgura con las especificaciones AGMA de la tabla 9-1 (p. 330), si sustituye m en lugar de $1/p_d$.
- †9-55 Determine el número mínimo de dientes en un piñón con un ángulo de presión de 20° ; con las siguientes relaciones engrane a piñón, de modo que no haya interferencia entre los dientes: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1.
- †9-56 Determine el número mínimo de dientes en un piñón con un ángulo de presión de 25° con las siguientes relaciones engrane a piñón de modo que no haya interferencia entre los dientes: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1.
- †9-57 Un piñón con diámetro de paso de 3.000 pulgadas se engrana con una cremallera. ¿Cuál es el tamaño de diente más grande, en función del paso diametral, que puede utilizarse sin ninguna interferencia?
- a) Con un ángulo de presión de 20°
b) Con un ángulo de presión de 25°
- †9-58 Un piñón con diámetro de paso de 75 mm se engrana con una cremallera. ¿Cuál es el tamaño de diente más grande, en función del módulo métrico, que puede utilizarse sin ninguna interferencia?
- a) Con un ángulo de presión de 20°
b) Con un ángulo de presión de 25°
- †9-59 Para tener un engranaje que funcione uniformemente se requiere una relación de contacto de por lo menos 1.5. Si los engranes tienen un ángulo de presión de 25° y una relación de engranes de 4, ¿cuál es el número mínimo de dientes en el piñón que dará la relación de contacto mínima requerida?
- †9-60 Para tener un engranaje que funcione uniformemente se requiere una relación de contacto de por lo menos 1.5. Si los engranes tienen un ángulo de presión de 25° y un piñón de 20 dientes, ¿cuál es la relación de engranes mínima que dará la relación de contacto mínima requerida?

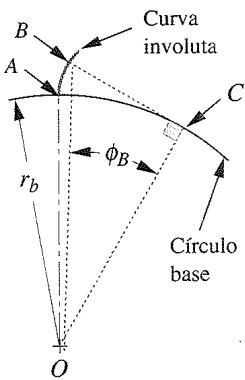


FIGURA P9-11 Problema 9-46

† Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.

- †9-61 Calcule y trace la relación de tren de un engranaje no circular, como una función del ángulo de entrada, basada en los centrosos de la figura 6-15b (p. 208). Las relaciones de longitud de eslabón son $L_1/L_2 = 1.60$, $L_3/L_2 = 1.60$ y $L_4/L_2 = 1.00$.
- †9-62 Repita el problema 9-61 con un mecanismo articulado de cuatro barras con relaciones de eslabón de $L_1/L_2 = 1.80$, $L_3/L_2 = 1.80$ y $L_4/L_2 = 1.00$.
- †9-63 La figura 9-35b (p. 348) muestra (esquemáticamente) un tren epicíclico compuesto. Los números de dientes son 50, 25, 35 y 90 para los engranes 2, 3, 4 y 5, respectivamente. El brazo se impulsa a 180 rpm en el sentido de las manecillas del reloj y el engrane 5 se fija a la bancada. Determine la velocidad y dirección del engrane 2. ¿Cuál es la eficiencia de este tren si los engranajes básicos tienen $E_0 = 0.98$?
- †9-64 La figura 9-35h (p. 348) muestra (esquemáticamente) un tren epicíclico compuesto. Los números de dientes son 80, 20, 25 y 85 para los engranes 2, 3, 4 y 5, respectivamente. El engrane 2 se impulsa a 200 rpm en sentido contrario al de las manecillas del reloj. Determine la velocidad y dirección del brazo si el engrane 5 se fija a la bancada. ¿Cuál es la eficiencia de este tren si los engranajes básicos tienen $E_0 = 0.98$?
- †9-65 La figura 9-35i (p. 348) muestra (esquemáticamente) un tren epicíclico compuesto. Los números de dientes son 24, 18, 20 y 90 para los engranes 2, 3, 4 y 5, respectivamente. El brazo se impulsa a 100 rpm en sentido contrario al de las manecillas del reloj y el engrane 2 se fija a la bancada. Determine la velocidad y dirección del engrane 5. ¿Cuál es la eficiencia de este tren si los engranajes básicos tienen $E_0 = 0.98$?
- 9-66 Usando la figura 9-8 (p. 328), deduzca la ecuación del ángulo de presión operativo de dos engranes trabados como una función de los radios de sus círculos base, la distancia central estándar y el cambio en la distancia entre centros.
- *†9-67 Un piñón y engrane trabados tienen radios circulares básicos de 1.8126 y 3.6252 pulg, respectivamente. Si éstos fueron cortados con un ángulo de presión estándar de 25° , determine su ángulo de presión operativo si la distancia central estándar aumenta 0.062 pulg.
- *†9-68 Un piñón y engrane trabados tienen radios circulares básicos de 1.35946 y 2.26577 pulg, respectivamente. Si tiene una distancia central estándar de 4.000 pulg, determine el ángulo de presión estándar y el ángulo de presión operativo si la distancia central estándar aumenta 0.050 pulg.
- *†9-69 Un piñón de 25 dientes se traba con un engrane de 60 dientes. Tienen un paso diametral de 4, un ángulo de presión de 20° y perfiles de involuta de profundidad total AGMA. Encuentre la razón de engrane, el paso circular, el paso base, los diámetros de paso, la distancia central estándar, la cabeza, la raíz, la profundidad total, el claro, los diámetros externos y la razón de contacto del juego de engranes.
- *†9-70 Un piñón de 15 dientes se traba con un engrane de 45 dientes. Tienen un paso diametral de 5, un ángulo de presión de 25° y perfiles de involuta de profundidad total AGMA. Encuentre la razón de engrane, el paso circular, el paso base, los diámetros de paso, la distancia central estándar, la cabeza, la raíz, la profundidad total, el claro, los diámetros externos y la razón de contacto del juego de engranes.
- *†9-71 Diseñe un tren de engranes rectos que reduzca la velocidad de un motor AC sincrónico con 900 rpm a exactamente 72 revoluciones por hora con la salida rotando en la misma dirección que el motor. Use engranes con un ángulo de presión de 25° y reduzca al mínimo el tamaño del paquete.
- †9-72 Se desea obtener un engranaje con una relación de contacto de al menos 1.5. Si los engranes tienen dientes estándar de profundidad total AGMA con un ángulo de presión de 25° y el piñón tiene 21 dientes, ¿cuál es la relación de engrane mínima que proporcionará la relación de contacto mínima requerida?
- †9-73 Proporcione un diseño preliminar (diámetros de paso y números de dientes) para un engranaje con una relación de engrane $m_G = 4$, un paso diametral $p_d = 8$ y una relación de contacto de al menos 1.5.

* Respuestas en el apéndice F.

† Estos problemas son adecuados para resolverse con los programas *Mathcad*, *Matlab* o *TKSolver*.