

# ELEMENTOS DE MÁQUINAS

---

Guía de Trabajo

---



## **VISIÓN**

Ser la mejor organización de educación superior posible para unir personas e ideas que buscan hacer realidad sueños y aspiraciones de prosperidad en un entorno incierto

## **MISIÓN**

Somos una organización de educación superior que conecta personas e ideas para impulsar la innovación y el bienestar integral a través de una cultura de pensamiento y acción emprendedora.

**Universidad Continental**

Material publicado con fines de estudio

Código: ASUC00273



## Presentación

A través de la guía lo que se pretende es lograr que los estudiantes puedan fortalecer los conceptos de los diferentes elementos mecánicos por medio del desarrollo, solución de los problemas propuestos, y cuyos resultados deban interpretarse para finalmente llegar a una conclusión más coherente.

La cantidad de elementos de máquinas que contiene los diferentes mecanismos o maquinas mediante complejas o complejas son numerosos, sin embargo, existen elementos importantes, utilizados con mayor frecuencia, y en base a ello en la presente asignatura se aborda los siguientes temas, dividido en cuatro unidades:

- Teoría de falla por carga estática, por fatiga y diseño de ejes.
- Cojinete de contacto rodante y elementos flexibles.
- Engranajes y uniones roscados.
- Resorte, frenos y embragues.

Al finalizar la asignatura, el estudiante será capaz de diseñar elementos de máquinas cumpliendo con los requerimientos de diseño bajo restricciones realistas, resultado que se logrará en base al desarrollo de las unidades y temas tratados en la presente guía.

Se recomienda al estudiante revisar la base teórica del tema a tratar y posteriormente resolver los diferentes problemas, la solución e interpretación de los resultados logrados coadyuva a fortalecer los conocimientos y habilidades necesarias que servirán para aplicar en el proyecto que cada equipo desarrolla.

*El autor*



## Índice

VISIÓN.....	2
MISIÓN.....	2
Presentación.....	3
Índice .....	4
Lista de figuras.....	5
Primera unidad.....	7
Semana 1 .....	7
Formulación de proyecto para elementos de máquinas.....	7
Semana 2.....	9
Falla resultante por carga estática y por fatiga.....	9
Semana 3.....	14
Diseño de ejes .....	14
Semana 4.....	18
Análisis y simulación .....	18
Segunda unidad .....	21
Semana 5.....	21
Cojinete de rodadura.....	21
Semana 6.....	25
Banda de transmisión de potencia .....	25
Semana 7.....	28
Cadena de transmisión de potencia .....	28
Tercera unidad.....	30
Semana 9.....	30
Engranajes rectos .....	30
Semana 10.....	33
Engranajes helicoidales .....	33
Semana 11 .....	36
Elementos de unión roscado .....	36
Semana 12.....	40
Tornillo de potencia .....	40
Cuarta unidad.....	43
Semana 13.....	43



Resortes .....	43
Semana 14.....	46
Frenos y embragues.....	46
Referencias.....	50

### Lista de figuras

Figura 1. Barra hecha de acero F.....	10
Figura 2. Manivela sometida a una fuerza F.....	11
Figura 3.Varilla redonda de acero .....	11
Figura 4. Eje y el esfuerzo nominal fluctuante .....	12
Figura 5. Eje sobre el que se ejercen fuerzas .....	13
Figura 6.Parte de una bomba accionada por engranajes.....	13
Figura 7.Eje secundario con dos poleas de banda en V.....	15
Figura 8. Eje montado en cojinetes .....	15
Figura 9. Eje giratorio de acero solido .....	16
Figura 10. Eje parte de un sistema de transmisión .....	17
Figura 11. Barra de acero AISI 1010 .....	19
Figura 12. Barra de acero AISI 1020 .....	19
Figura 13. Barra de acero AISI 1035 .....	20
Figura 14. Cojinete A y B .....	22
Figura 15. Eje montado en cojinetes .....	23
Figura 16. Rodamiento de bolas de contacto.....	23
Figura 17. Rodillo de impresora .....	24
Figura 18. Compresor .....	25
Figura 19. Máquina de corte .....	26
Figura 20. Transmisión por engranajes.....	31
Figura 21. Caja de velocidades.....	31
Figura 22. Arreglo de engranajes con doble reducción.....	34
Figura 23. Rodamientos de bolas.....	37
Figura 24. Perno de ½ pulg .....	37



Figura 25. Soporte con fuerzas verticales.....	38
Figura 26. Placa de soporte en voladizo.....	39
Figura 27. Mordaza en forma de C.....	40
Figura 28. Gato mecánico.....	41
Figura 29. Prensa ordinaria.....	41
Figura 30. Elevador motorizado.....	42
Figura 31. Muelle de compresión.....	45
Figura 32. Freno de tambor .....	47
Figura 33. Freno de tambor interno .....	47
Figura 34. Freno de mano .....	48
Figura 35. Freno de disco .....	49



## Primera unidad

### Semana 1

## Formulación de proyecto para elementos de máquinas

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 1	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 1	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

**Instrucciones:**

1. Organizarse en equipo de tres.
2. El equipo debe identificar alguna necesidad y/o situación problemática relacionado a su especialidad y proponer un proyecto a realizar, el cual se ejecutará en el transcurso del desarrollo de la presente asignatura.
3. Plantear el título tentativo, fundamentar la situación problemática los objetivos y plantear la metodología de diseño de maquina a utilizar.

I. **Propósito:** el estudiante será capaz de plantear un proyecto de diseño mecánico que responsa a una necesidad y/o situación problemática real, que a través de ello se seleccionara los elementos mecánicos que lo componen.

II. **Descripción de la actividad a realizar.** El equipo de trabajo debe plantear un proyecto de diseño mecánico o proyecto propuesto por el docente y asumido como un reto por parte del equipo, posteriormente el equipo debe completar en base al esquema que se presenta en la parte inferior el contenido correspondiente.

### 1. Nombre del proyecto.

.....

.....

.....

.....



**2. Situación Problemática.** (Identificación de las necesidades para resolver a través del proyecto).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3. Objetivo.**

3.1 Objetivo General

.....

.....

3.2 Objetivos Específicos

.....

.....

.....

.....

.....



## Semana 2

### Falla resultante por carga estática y por fatiga

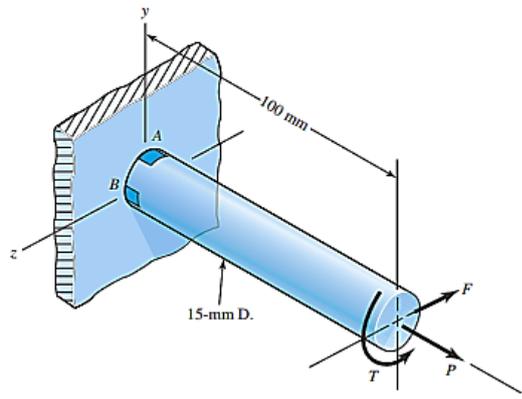
Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 1	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 2	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

#### Instrucciones:

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

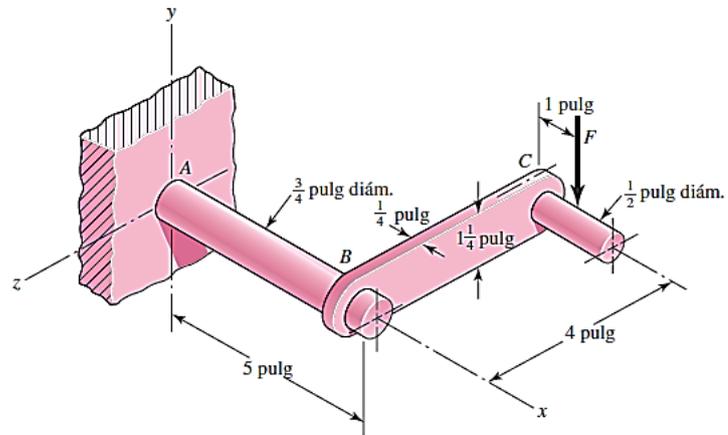
- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar los factores y analiza fallas desde el punto de vista estático y por fatiga, en base al esfuerzo y factor de seguridad de puntos críticos del elemento.
- II) **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.

- 1) En este problema se ilustra que el factor de seguridad de un elemento de máquina depende del punto particular seleccionado para el análisis. Aquí se deben calcular los factores de seguridad, con base en la teoría de la energía de distorsión, para los elementos de esfuerzo A y B del elemento que se muestra en la figura. Esta barra está hecha de acero AISI 1010 estirado en caliente y está sometida a las fuerzas  $F = 0.55 \text{ kN}$ ,  $P = 8.0 \text{ kN}$  y  $T = 30 \text{ N} \cdot \text{m}$ .



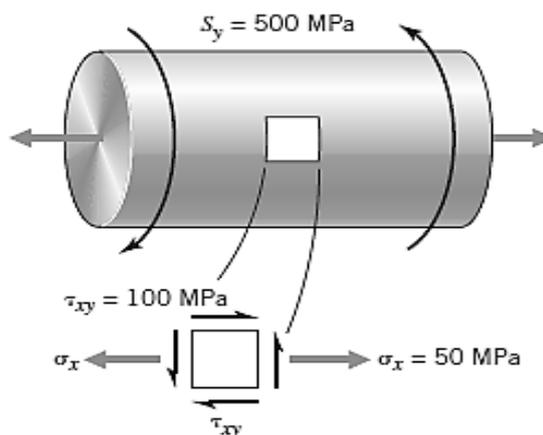
**Figura 1. Barra hecha de acero F**

- 2) En la figura se muestra una manivela sometida a una fuerza  $F = 190 \text{ lbf}$  la cual causa torsión y flexión del eje de  $3/4 \text{ pulg}$  de diámetro fijado a un soporte en el origen del sistema de referencia. En realidad, el soporte puede estar en una situación de inercia que se desea hacer girar, pero para los propósitos de un análisis de la resistencia se puede considerar que se trata de un problema de estática. El material del eje AB es acero AISI 1020 laminado en frío. Mediante el empleo de la teoría del esfuerzo de Von Mises, encuentre el factor de seguridad con base al esfuerzo en el punto A.



**Figura 2. Manivela sometida a una fuerza  $F$**

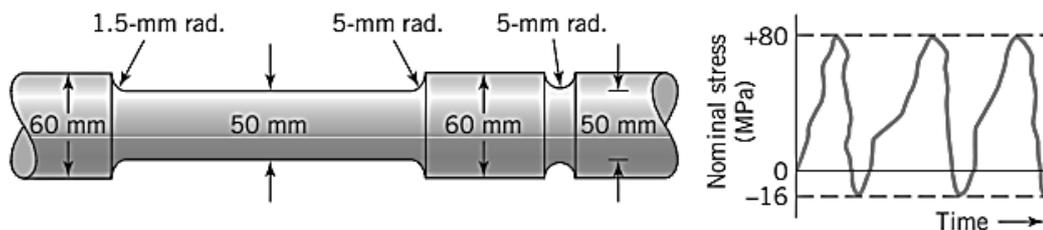
- 3) Una varilla redonda de acero se somete a una tensión axial de 50 MPa con una torsión superpuesta de 100 MPa ¿Cuál es su mejor predicción del factor de seguridad con respecto a la cedencia inicial si el material tiene una resistencia a la cedencia por tensión de 500 MPa



**Figura 3. Varilla redonda de acero**



- 4) Una flecha (eje de transmisión de potencia) es sometida a un par de torsión de 5000 lb.pulg. Determine el diámetro requerido, usando acero con una resistencia a la cedencia a tensión de 60 Klb/pulg<sup>2</sup> y un factor de seguridad de 2 basándose en la cedencia inicial.
- Según la teoría de la energía de distorsión máxima.
  - Según la teoría de esfuerzo cortante máximo.
- 5) La figura muestra un eje y el esfuerzo nominal fluctuante (en el centro de la sección de 50 mm) al cual está sometida. El eje está hecho de acero con  $S_u = 600$  MPa y  $S_y = 400$  Mpa. Calcule el factor de seguridad para una falla a fatiga final si:
- los esfuerzos son de flexión.
  - Los esfuerzos son de torsión



**Figura 4. Eje y el esfuerzo nominal fluctuante**

- 6) Una broca de 10 mm se trató térmicamente y se esmeriló. La medición de la dureza Brinell fue 300. Calcule la resistencia a la fatiga en MPa si la broca se somete a flexión rotativa.
- 7) En el eje de la figura se ejercen las fuerzas de las reacciones de los cojinetes R1 y R2; el eje gira a 950 rpm y soporta una fuerza de flexión de 8 kip. Use un acero 1095 rolando en caliente. Especifique el diámetro  $d$  con un factor de diseño de  $n_d = 1.6$ , para una vida de 10 horas. Las superficies están maquinadas.

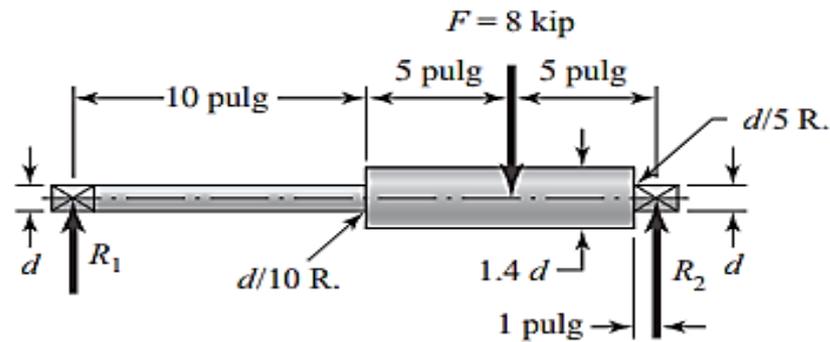


Figura 5. Eje sobre el que se ejercen fuerzas

- 8) La figura muestra una parte de una bomba accionada por engranajes con carga uniforme y velocidad. El eje está soportado por cojinetes montados en la cubierta de la bomba. El eje está hecho de acero con  $S_u = 1000 \text{ Mpa}$ ,  $S_y = 800 \text{ Mpa}$ . Se indican componente tangencial, axial y se muestran los componentes radiales de la fuerza aplicada al engranaje. La superficie del canto del eje ha sido granallada, lo cual estima que es equivalente a una superficie pulida como espejo en el laboratorio. Se han determinado los factores de concentración de esfuerzos a la fatiga para el canto. Calcule el factor de seguridad con respecto a la falla a fatiga final en el canto.

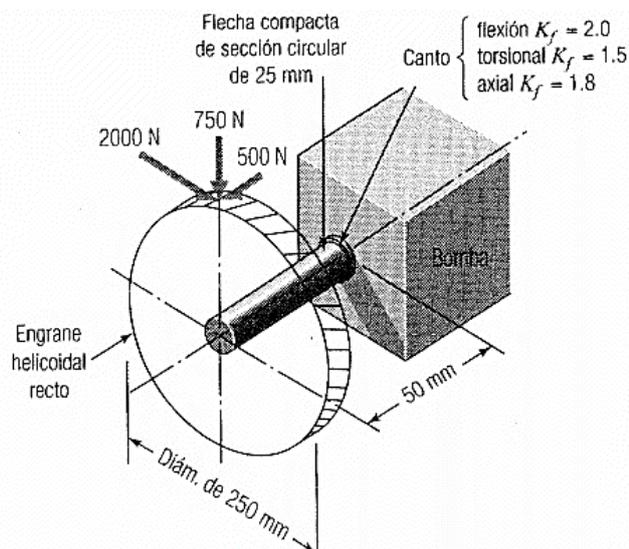


Figura 6. Parte de una bomba accionada por engranajes



## Semana 3

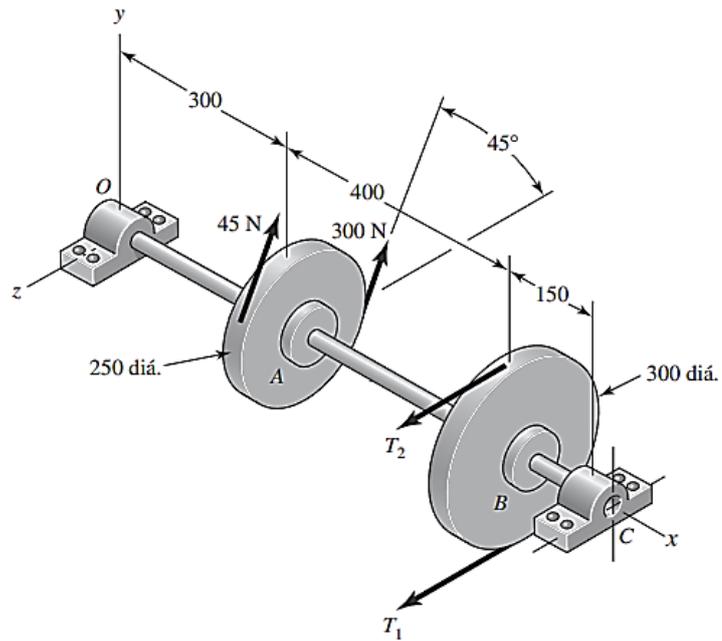
### Diseño de ejes

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 1	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 3	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

#### Instrucciones:

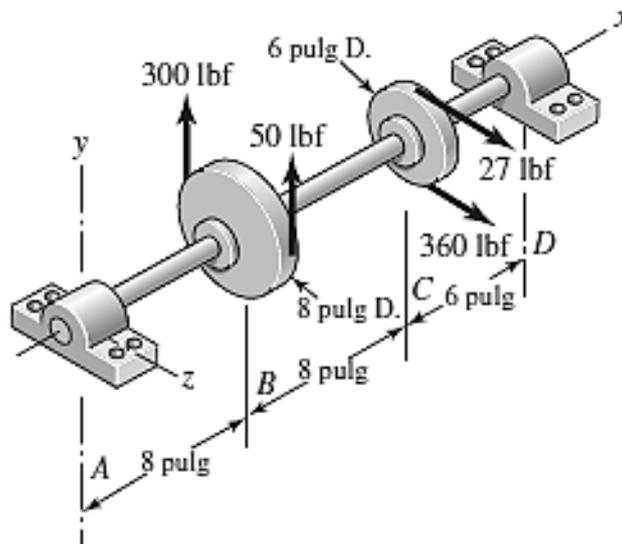
1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar de identificar los factores que intervienen en el diseño de ejes a través de un análisis estático y por fatiga y selecciona elementos complementarios.
- II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.
- 1) En la figura se muestra un eje secundario con dos poleas de banda en V. La polea A recibe potencia de un motor mediante una banda con las tensiones mostradas. La potencia se transmite a través del eje y se pasa a la banda en la polea B. Suponga que la tensión de la banda en el lado flojo en B es de un 15 por ciento de la tensión en el lado apretado.
- a) Determine el par torsión que soporta el eje.
  - b) Seleccionar el material adecuado para el eje para un f.s de 1.8 y determinar el diámetro del eje (análisis estático – Von Mises.)
  - c) Determinar el diámetro del eje (análisis por fatiga).
  - d) Seleccionar la chaveta y el tornillo prisionero.



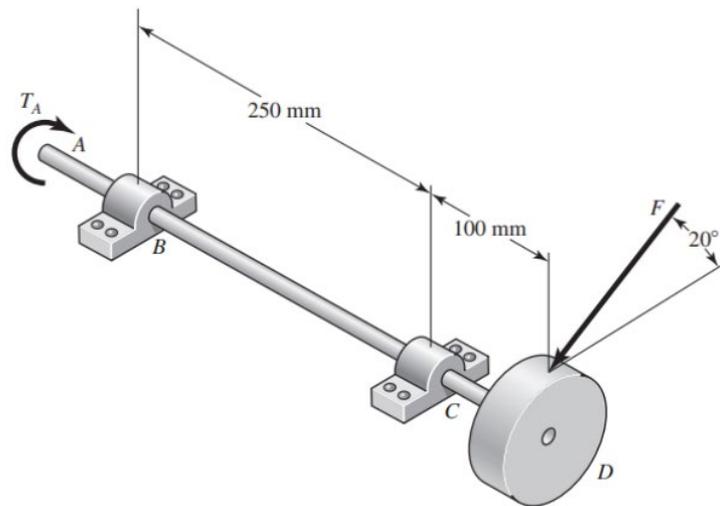
**Figura 7. Eje secundario con dos poleas de banda en V**

- 2) En la figura se muestra un eje montado en cojinetes, en los puntos A y D y tiene poleas en B y C. Las Fuerzas que se muestran actúan en las superficies de las poleas y representan las tensiones de las bandas. El eje se hará de acero SAE 1045 usando un factor de diseño  $n_d = 2.8$ .
- ¿Qué diámetro se debe usar para el eje? (análisis estático y por fatiga).
  - Seleccione de chaveta adecuada y/o tornillo prisionero.



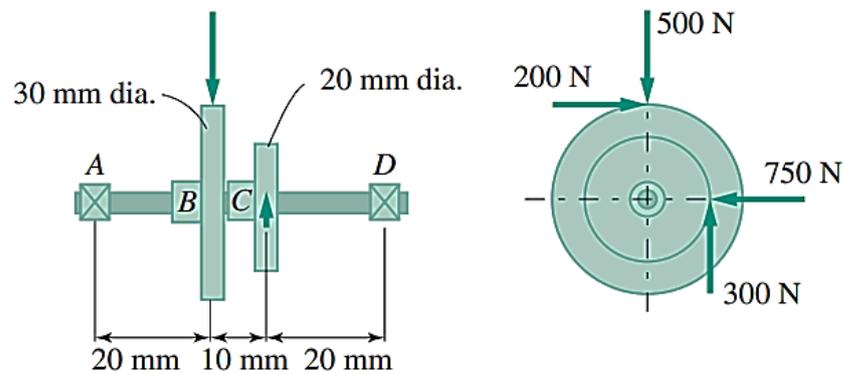
**Figura 8. Eje montado en cojinetes**

- 3) El eje giratorio de acero sólido simplemente apoyado en los puntos B y C está impulsado por un engrane (que no se muestra) el cual se une con el engrane recto en D, que tiene un diámetro de paso de 150 mm. La fuerza  $F$  del engrane impulsor actúa a un ángulo de presión de  $20^\circ$ . El eje transmite un par de torsión al punto A de  $T_A = 340 \text{ N} \cdot \text{m}$ . El eje de acero está maquinado con SAE 1020, Usando un factor de seguridad de 2.5,
- Determine el diámetro mínimo permisible a través de un análisis estático de la fluencia con base en la teoría de la energía de distorsión.
  - Determine el diámetro mínimo permisible a través de un análisis de falla por fatiga. Para estimar los factores de concentración del esfuerzo suponga radios de filete agudos en los hombros de cojinete.
  - Selecciona la chaveta adecuada ( $w$ ,  $h$  y  $L$ ) y/o diámetro de tornillo prisionero.



**Figura 9. Eje giratorio de acero sólido**

- 4) En la figura se muestra un eje parte de un sistema de transmisión para un pequeño robot. El eje soporta dos engranajes rectos cargados como se indica, y está soportado por cojinetes en A y D, y gira a 1200 RPM.
- Determinar el diámetro necesario del eje (Desarrollar con el análisis estático – Von Mises. (Seleccionar el material adecuado, el diámetro no debe ser mayor a 12 mm)
  - Determinar el diámetro corregido a través de un análisis por fatiga.
  - Seleccionar las chavetas (material y dimensiones).



**Figura 10. Eje parte de un sistema de transmisión**



## Semana 4

### Análisis y simulación

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 1	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 4	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

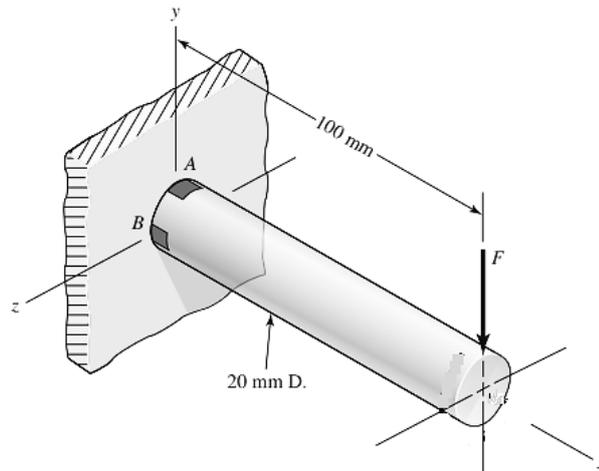
I. **Propósito:** el estudiante será capaz de ejecutar la simulación y finalmente analiza e interpreta los resultados.

II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, desarrollar teóricamente, posteriormente dibujar el elemento y simular a través de un software (Ejemplo Solid Works u otro) y luego analizar los resultados.

1) Calcular los factores de seguridad, con base en la teoría de la energía de distorsión, para los elementos de esfuerzo A y B del elemento que se muestra en la figura. Esta barra está hecha de acero AISI 1010 estirado en frío y está sometida a las fuerzas  $F = 0.70 \text{ KN}$ .

Análisis y Simulación (*Análisis Estático*).

- a) Simular y obtener como resultado de f.s, esfuerzos, desplazamiento y deformaciones.
- b) Comparar los resultados entre el análisis teórico y la simulación en A y B.
- c) Validar el material a través de los resultados de esfuerzo máximo y la resistencia del material.
- d) Generar un reporte de resultados, e interpretar.

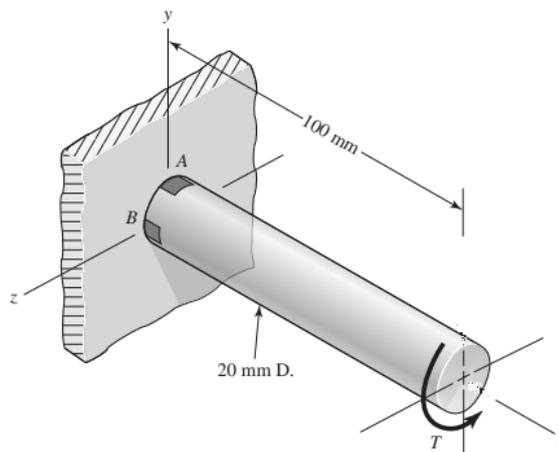


**Figura 11. Barra de acero AISI 1010**

- 2) Calcular los factores de seguridad, con base en la teoría de la energía de distorsión, para los elementos de esfuerzo A y B del elemento que se muestra en la figura. Esta barra está hecha de acero AISI 1020 estirado en frío y está sometida a las fuerzas  $T = 60 \text{ N.m}$ .

Análisis y Simulación (Análisis Estático).

- Simular y obtener como resultado de f.s, esfuerzos, desplazamiento y deformaciones.
- Comparar los resultados entre el análisis teórico y la simulación en A y B.
- Validar el material a través delos resultado de esfuerzo máximo y la resistencia del material.
- Generar un reporte de resultados, e interpretar.

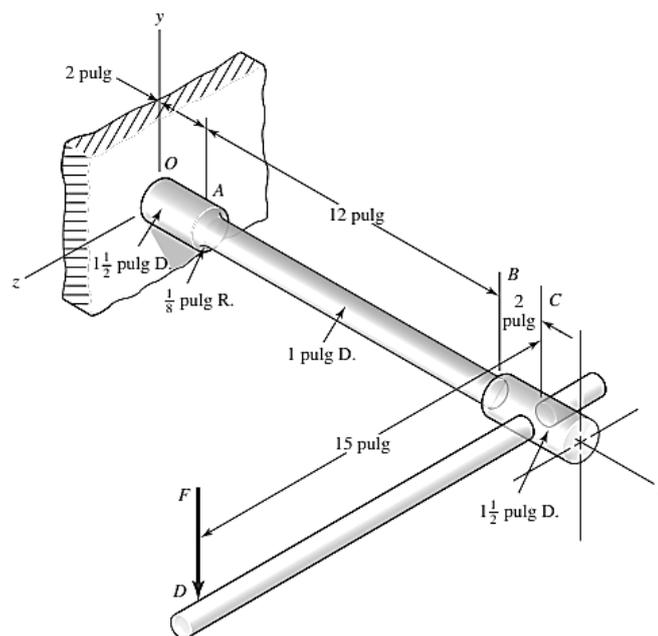


**Figura 12. Barra de acero AISI 1020**

- 3) Calcular los factores de seguridad, esfuerzo con base en la teoría de la energía de distorsión, para los elementos de esfuerzo en O del elemento que se muestra en la figura. Esta barra está hecha de acero AISI 1035 estirado en frío y está sometida a las fuerzas  $F = 416 \text{ lb}$ .

*Análisis y Simulación (Análisis Estático).*

- Simular y obtener como resultado de f.s, esfuerzos, desplazamiento y deformaciones.
- Comparar los resultados entre el análisis teórico y la simulación en A y B.
- Validar el material a través de los resultados de esfuerzo máximo y la resistencia del material.
- Generar un reporte de resultados, e interpretar.



**Figura 13. Barra de acero AISI 1035**



## Segunda unidad

### Semana 5

### Cojinete de rodadura

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 2	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 5	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

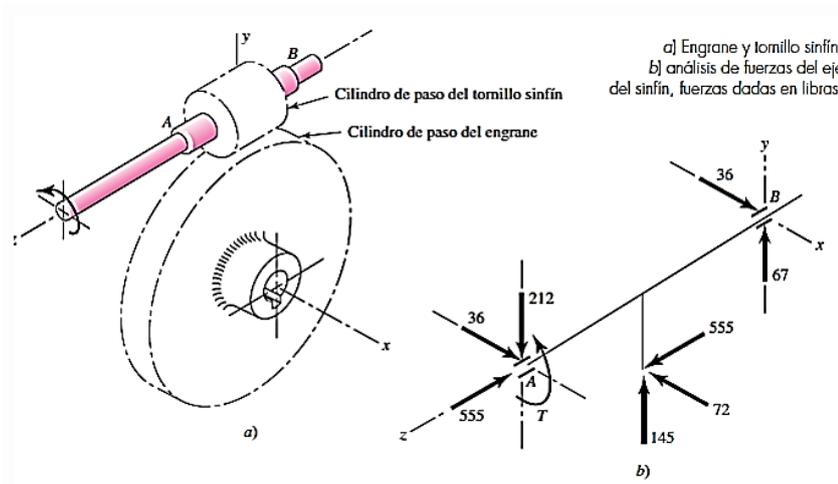
I) **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar las características y parámetros para la selección de cojinetes de contacto rodante.

II) **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.

1) La carga de diseño en un cojinete de bolas es 413 lbf y se considera apropiado un factor de aplicación de 1.2. La velocidad del eje o árbol será de 300 rpm y la vida de 30 kh con una confiabilidad de 0.99. ¿Cuál es la anotación en el catálogo  $C_{10}$  que se debe buscar (o exceder), cuando se investigue por un cojinete de ranura profunda en un catálogo de fabricante basado en una vida nominal de  $10^6$  revoluciones? Los parámetros de Weibull son  $x_0 = 0.02$ ,  $(\theta - x_0) = 4.439$  y  $b = 1.483$ .

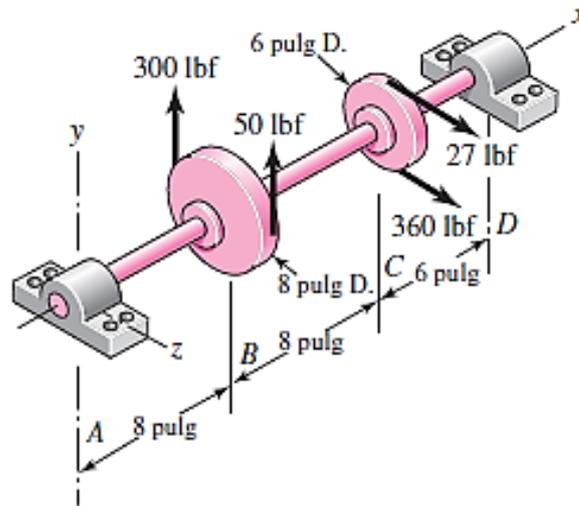
2) El árbol de tornillo sinfín

- a) De la figura transmite 1.35 hp a 600 rpm. Del análisis estático de la fuerza se obtuvieron los resultados que se presentan en la parte
- b) De la figura. El cojinete A será de bolas de contacto angular montado para soportar una carga de empuje de 555 lbf. El cojinete B solo soportara la carga radial, por lo que se empleara un cojinete de rodillos cilíndricos. Utilice un factor de aplicación de 1.3, una vida deseada de 25 kh y una meta de confiabilidad, combinada, de 0.99. Especifique cada cojinete.



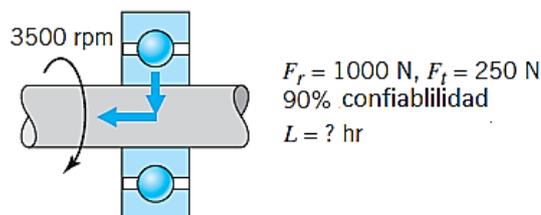
**Figura 14. Cojinete A y B**

- 2) En la figura se muestra un eje montado en cojinetes, en los puntos A y D y tiene poleas en B y C. Las Fuerzas que se muestran actúan en las superficies de las poleas y representan las tensiones de las bandas. El eje gira a 800 rpm, objetivo de vida para una maquina industrial. Seleccione el rodamiento usando un factor de diseño  $n_d = 1.3$ .



**Figura 15. Eje montado en cojinetes**

- 4) Se usa un rodamiento de bolas de contacto angular, en una aplicación considerada de ligera a moderada con respecto a la carga de choque. El eje gira a 3500 RPM y el rodamiento está sujeto a una carga radial de 1000 N y una carga de empuje de 250 N. Estime la vida del rodamiento en horas para una confiabilidad combinada del 90 %.



**Figura 16. Rodamiento de bolas de contacto**

- 5) En la figura muestra un rodillo de impresora accionado por el engrane el cual se le aplica una fuerza de 1,2 kN. La superficie inferior del rodillo está en contacto con un rodillo similar que aplica una carga uniforme (hacia arriba) de 4 N/mm. Seleccione rodamiento de bolas idénticos de la serie 200 para A y B si el eje gira a 350 RPM, ( $L = 30000$  hr.).

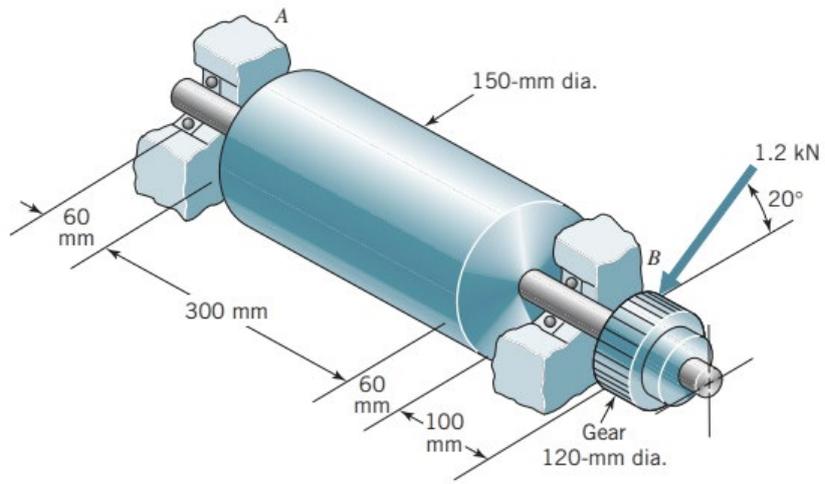


Figura 17. Rodillo de impresora

## Semana 6

### Banda de transmisión de potencia

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 2	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 6	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar las características y selección de banda de transmisión de potencia.
- II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.
- 1) Un compresor de la figura de tipo pistón, gira con una rotación igual  $n_c = 810$  rpm, accionado por un motor eléctrico de CA de inducción, asíncrono, trifásico, con una potencia  $P = 0,7355$  KW a una rotación de  $n_m = 1730$  rpm, siendo una distancia ente centros  $C = 600$  mm. Seleccionar la banda en V, y el número respectivo.

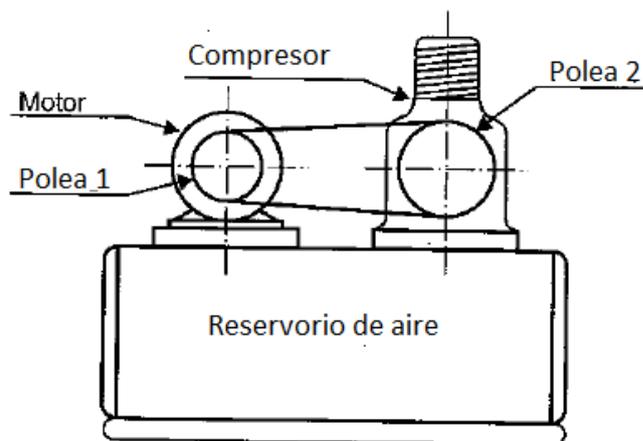
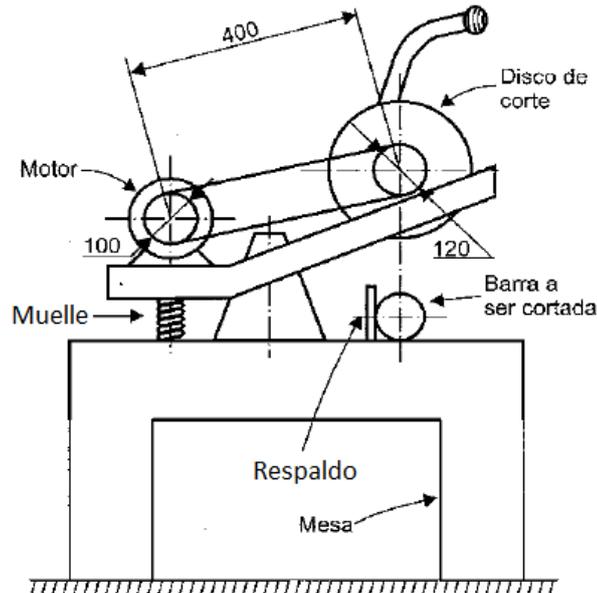


Figura 18. Compresor

- 2) Una máquina de corte, representada en la figura, accionada por un motor asíncrono, de inducción, trifásico, con una potencia de 1,5 KW a  $n = 1720$  rpm. Las poleas tienen,  $d_1 = 100$  mm y  $d_2 = 120$  mm. Considere servicio normal de 8 – horas por día.

Especificar el tipo y número de correas.



**Figura 19. Máquina de corte**

- 3) Mediante una transmisión de correa, se desea acoplar un motor con un mezclador para procesar maíz. El motor eléctrico de 10 HP tiene una velocidad nominal de 3550 RPM y el mezclador debe operar tan cerca de 900 RPM como sea posible. Seleccione el tamaño adecuado de la correa, las poleas y la correa comercialmente disponibles para esta aplicación. Calcule, asimismo, la velocidad real de la correa y la distancia entre centros.
- 4) En un juego de correas trapezoidales de alta capacidad de 5V, cada correa tiene un paso de paso (longitud exterior) de 132,0 pulgadas, y funciona con un par de poleas de 12 pulgadas de diámetro con ranuras múltiples. La velocidad de La velocidad de rotación de las poleas es de 960 rpm. Para conseguir una esperanza de vida media de 20 000 horas, encuentre el número de correas que deben utilizar en paralelo para transmitir 200 caballos de fuerza.



- 5) Un motor de 25 HP a 1750 rpm impulsa una correa en V múltiple. La polea en el eje del motor tiene un diámetro del círculo primitivo de 7 pulg. (un tamaño estándar) y la geometría es tal que el ángulo de abrazamiento es  $165^\circ$ . El tamaño 5V de las correas usadas tiene  $\beta$  de  $18^\circ$  y un peso unitario de 0,012 lb/pulg. Se supone conservadoramente que la tensión máxima de la correa debe limitarse a 150 lb, y que el coeficiente de fricción será cuando menos 0,20. ¿Cuántas correas se requieren?



## Semana 7

### Cadena de transmisión de potencia

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 2	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 7	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

#### Instrucciones:

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

I) **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar las características y selección de cadenas de transmisión de potencia.

II) **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.

- 1) Se desea una transmisión de cadena en un recolector de maíz para acoplar un motor hidráulico con un eje impulsor. El motor de 30 hp operará a 550 rpm y el eje impulsor debe funcionar tan cerca de 100 rpm como sea posible.

Seleccione un tamaño adecuado de la cadena, la longitud y la distancia entre centros.

- 2) Se desea utilizar un accionamiento de cadena de rodillos compacto para transmitir la potencia de un dinamómetro a un banco de pruebas para la evaluación de cajas de cambios auxiliares de aeronaves. El accionamiento de cadena debe transmitir 90 caballos de fuerza a una velocidad de piñón pequeño de 1000 rpm.

a. Seleccione el tamaño de cadena de rodillos más adecuado.



- b. Determine el tamaño mínimo del piñón que debe utilizarse.
  - c. Especifique la lubricación adecuada
- 3) El eje de una caja de transmisión de engranes esta acoplada a través de una transmisión de cadena del número 100, por lo que hace girar al eje de un aplastados de pulpa en una planta productora de papel. El eje del aplastador gira 250 rpm en sentido horario. La rueda dentada impulsora tiene 25 diente y la rueda dentada del aplastador tiene 76. Determinar:
- a) La velocidad de la rueda dentada impulsora.
  - b) La velocidad de la cadena.
  - c) El método de lubricación.
- 4) Se desea una transmisión de cadena para acoplar un motor de engranes con la transmisión de tornillo de una prensa. El motor de engranes de 50 HP operará a 600 rpm y la transmisión de tornillo debe funcionar tan cerca de 100 rpm como sea posible.
- a) Seleccione un tamaño adecuado de la cadena.
  - b) Las ruedas dentadas.
  - c) El número de eslabones de la cadena comercialmente disponibles.
  - d) Calcule la velocidad real de la cadena.
  - e) La distancia entre centros.



## Tercera unidad

### Semana 9

### Engranajes rectos

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 3	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 9	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

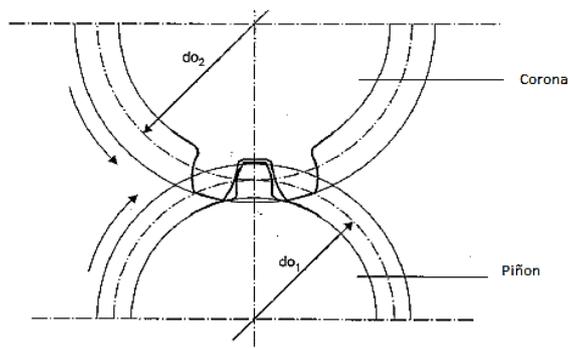
**I. Propósito:** el estudiante será capaz de identificar las propiedades de los engranajes rectos, relación de transmisión, fundamentos en tren de engranajes y esfuerzos.

**II. Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.

1) La transmisión por engranajes, tal como se representa en la figura, es accionada por intermedio de un motor eléctrico tiene una potencia de 0,75 KW y gira a una rotación de 1140 RPM, acoplado a un piñón. Los engranajes poseen las siguientes características. Piñón:  $Z_1 = 25$  dientes, modulo 2 mm.; corona:  $Z_2 = 47$  dientes, modulo 2 mm. Despreciando pérdidas, determinar

- a) Relación de transmisión.
- b) Torque del piñón.
- c) Velocidad angular de la corona.
- d) Torque de la corona.
- e) Fuerza tangencial de la transmisión.

f) Velocidad periférica de transmisión.



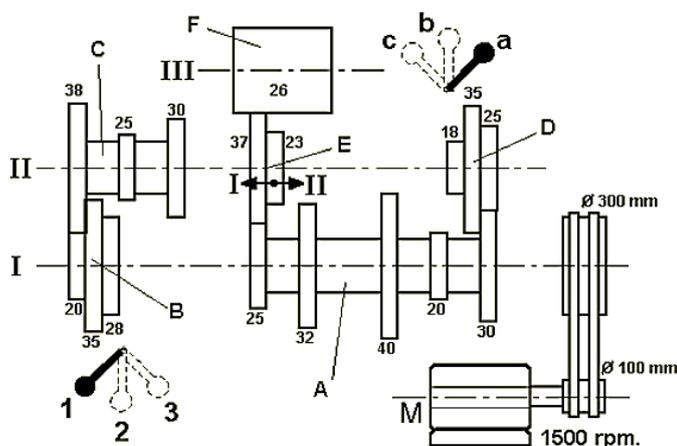
**Figura 20. Transmisión por engranajes**

2) Calcular todas las velocidades del eje **III** (complete la tabla en la parte inferior), en revoluciones por minuto, de la siguiente caja de velocidades cuyo funcionamiento es el siguiente.

El motor **M** transmite el movimiento al eje **I** mediante un par de poleas, este a su vez mueve el grupo de ruedas dentadas **B** que gira solidario a él. Este grupo mueve al grupo C que gira solidario al eje **II** que a su vez mueve el grupo de ruedas **D**. Este grupo mueve al grupo A que gira libre en el eje **I** y que transmite el movimiento al grupo E que gira libre en el eje II. El grupo **E** finalmente mueve al eje III a través de la rueda **F** que gira solidaria a él.

El grupo de ruedas **B** tiene 3 posiciones 1-2-3. El grupo de ruedas **D** tiene 3 posiciones a-b-c.

El grupo de ruedas **E** tiene dos posiciones I-II.



**Figura 21. Caja de velocidades**



Completar el cuadro los resultados de su análisis,

		a	b	c
I	1	210		
	2		1177	-
	3	373		200
II	1	433		
	2			623
	3		1614	..

- 3) Un piñón de 24 dientes tiene un módulo de 2 mm, gira a 2400 RPM, e impulsa un engrane a 800 RPM. Determine el número de dientes en el engrane, el paso circular y la distancia entre centros teórica.
- 4) Un reductor de velocidad tiene dientes de altura completa de  $20^\circ$  y se compone de un piñón recto de acero de 22 dientes que controla una corona de hierro fundido de 60 dientes. La potencia transmitida es de 15 hp con una velocidad del piñón de 1 200 rpm. Para un paso diametral de 6 dientes/pulg y un ancho de cara de 2 pulg, encuentre el esfuerzo de flexión y de contacto (valide los materiales).
- 5) Un piñón recto a  $20^\circ$  con 20 dientes y un módulo de 2.5 mm transmite 120 W a una corona de 36 dientes. La velocidad del piñón es de 100 rpm y los engranes son de grado 1, con 18 mm de ancho de cara, de acero endurecido completamente a 200 Brinell, sin coronar, fabricados con una norma de calidad del número 6 y para considerarse como de instalación de calidad de engranaje abierto. Encuentre los esfuerzos de flexión y contacto AGMA, así como los factores de seguridad correspondientes para una vida del piñón de  $10^8$  ciclos y una confiabilidad de 0.95.
- 6) Diseñe un tren de engranes rectos compuesto de dos etapas para una razón total de aproximadamente 47:1. Especifique los números de dientes de cada engrane del tren.



## Semana 10

### Engranajes helicoidales

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 3	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 10	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

#### Instrucciones:

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

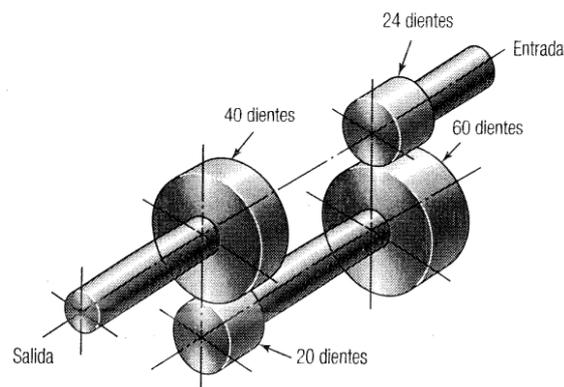
I. **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar las propiedades de los engranajes helicoidales, relación de transmisión, fundamentos en tren de engranajes y esfuerzos.

II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.

- 1) El engranaje helicoidal de 27 dientes con  $\psi = 25^\circ$  tiene un ángulo de presión de  $20^\circ$  en el plano de rotación.
  - a) ¿Cuál es el ángulo de presión en el plano normal  $\Phi_n$ , y el número equivalente de dientes,  $N_e$ ?
  - b) ¿Qué ángulo de presión y numero de dientes tendría un diente recto de engrane recto con una resistencia a la flexión comparable?
- 2) Dos engranajes helicoidales de acoplamiento tienen flechas paralelas. Los engranes se cortaron con una fresadora con un paso circular normal de 0,5236 pulg. La distancia entre centros de los engranes es de 9 pulg y la razón de velocidad es de 2:1. El piñón tiene 15 dientes.

Determine el ángulo de hélice requerido.

- 3) La figura muestra un arreglo de engranajes con doble reducción usado en una maquina industrial. Los módulos en el plano normal son de 3,5 mm y 5 mm para engranajes de alta y baja velocidad. El ángulo de hélice de los engranes de alta velocidad es de 0,44 rad.
- ¿Cuál es la reducción total de velocidad proporcionada por los cuatro engranes?
  - ¿Cuál es el ángulo de hélice de los engranes de baja velocidad?
  - ¿Si los engranes de baja velocidad se remplazan por engranes de 24 y 34 dientes con los mismos módulos, que ángulo de hélice deben tener?



**Figura 22. Arreglo de engranajes con doble reducción**

- 4) Un cabrestante incorpora un par de engranajes rectos con 20 y 60 dientes,  $b=50$  mm y  $m=4.0$  mm. Con objeto de tener una operación más silenciosa, se quiere remplazar estos engrane por otros helicoidales. Por razones de resistencia, se desea usar engranes con  $m= 4,0$  mm en el plano normal.
- Determine una combinación adecuada de número de dientes y ángulo de hélice.



- 5) Un reductor de engranajes incorpora un par de engranes rectos de 25 y 50 dientes,  $b = 115$  mm y  $m = 10$  mm. Con objeto de tener una operación más silenciosa, los engranes rectos se quieren remplazar por engranes helicoidales. Por razones de resistencia, se desea usar engranes con  $m = 10$  mm en el plano normal. Determine una combinación adecuada de número de dientes y ángulo de hélice.



## Semana 11

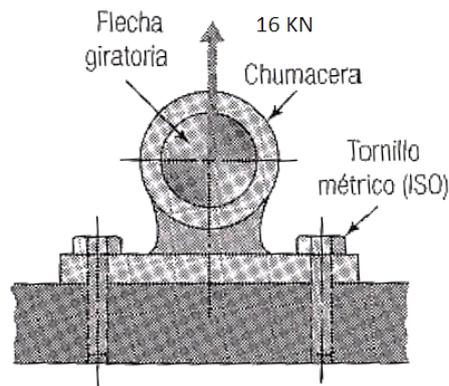
### Elementos de unión roscado

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 3	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 11	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

#### Instrucciones:

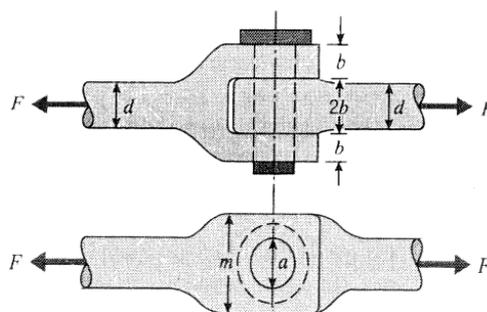
1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de identificar las características de los elementos de unión roscado no permanentes y su respectiva selección adecuada.
- II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.
  - 1) En la figura se muestra un rodamiento de bolas protegido por una chumacera que soporta el extremo de una flecha giratoria. La flecha aplica una carga estática de 16 KN a la chumacera como se muestra. Seleccione los tornillos métricos apropiados ISO para sujetar la chumacera y determine el par de torsión apropiado para el apriete.



**Figura 23. Rodamientos de bolas**

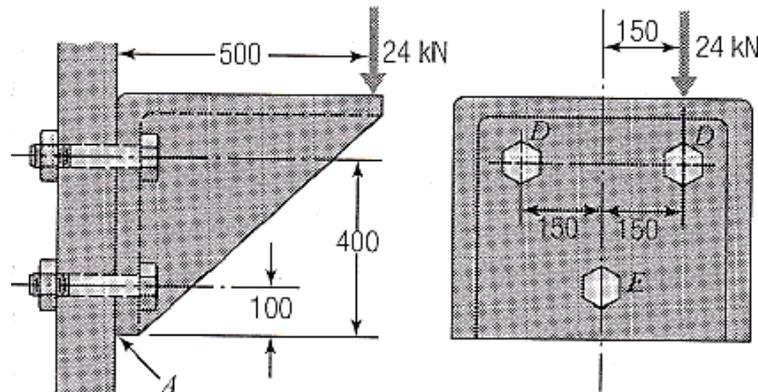
- 2) Dos elementos de una maquina se mantienen unidos mediante pernos, cada uno de los cuales soporta una carga estática de tensión de 3100 N.
- ¿Qué tamaño de perno métrico de cuerda gruesa clase 5,8 se requiere cuando se usa un factor de seguridad de 4? (con base en pruebas de resistencia).
  - ¿Cuál es el número mínimo de hilos que debe estar en contacto para que la resistencia al cortarse de la cuerda sea igual a la resistencia a la tensión del perno si las tuercas están hechas de acero cuyas resistencias a la cedencia y la prueba son el 70 % de las correspondientes al acero del perno?
- 3) En la figura muestra un perno de  $\frac{1}{2}$  pulg 13 UNC grado 5 sobre el que actúa un esfuerzo cortante doble. Las placas unidas están hechas de acero y tiene superficies limpias y secas. El perno debe apretarse con una llave de torsión hasta alcanzar su carga total de prueba. ¿Qué fuerza F, puede soportar la junta?. Se supone que el perno y las placas tienen una resistencia adecuada para evitar los otros modos de falla.



**Figura 24. Perno de  $\frac{1}{2}$  pulg.**



- 4) En la figura se muestra un soporte con fuerzas verticales sujeto a un elemento fijo por tres pernos idénticos. Aunque la carga de 24 kN por lo general se aplica en el centro, los pernos se seleccionan suponiendo que puede haber fuerzas excéntricas. Debido a las consideraciones de seguridad, se utilizan pernos de acero SAE clase 9,8 y un factor de seguridad mínimo de 6. Determine el tamaño apropiado del perno.



**Figura 25. Soporte con fuerzas verticales**

- 5) Una placa de soporte en voladizo de acero laminado en caliente 1020 debe atornillarse a un pilar de acero rígido utilizando cuatro pernos M16x2 de clase de propiedad 4.6, colocados como se muestra en la figura. Para la carga estática de 16 kN y las dimensiones dadas, y suponiendo que ninguna de las cargas es soportada por fricción, haga lo siguiente:
- Encuentre la fuerza cortante resultante en cada perno.
  - Encuentre la magnitud del esfuerzo cortante máximo del tornillo de los pernos y su ubicación.
  - Encuentre la tensión máxima de apoyo y su ubicación.
  - Encuentre el esfuerzo máximo de flexión en la placa de apoyo en voladizo, e identifique dónde se produce. No tenga en cuenta la concentración de concentración.

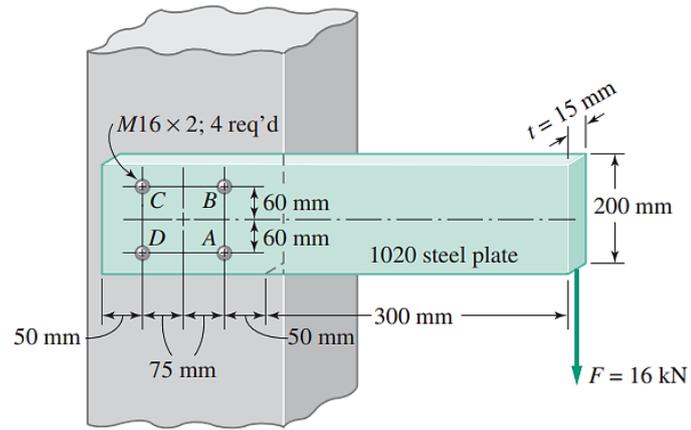


Figura 26. Placa de soporte en voladizo

## Semana 12

### Tornillo de potencia

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 3	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 12	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de analizar y diseñar el tornillo de potencia.
- II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.
  - 1) Una mordaza en forma de C usa una rosca Acme de 0,5 pulg. de diámetro y un collarín de 0,625 pulg. de diámetro medio efectivo. El collarín está unido rígidamente a extremo superior del miembro roscado externamente. Determine la fuerza requerida en el extremo del mango de 6 pulg. para desarrollar una fuerza de presión de 150 lb.

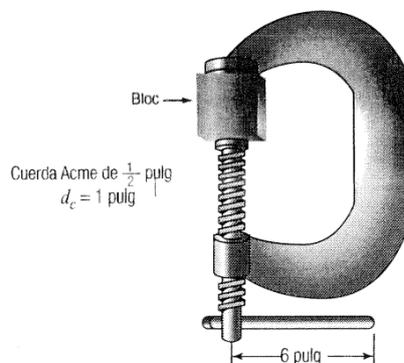
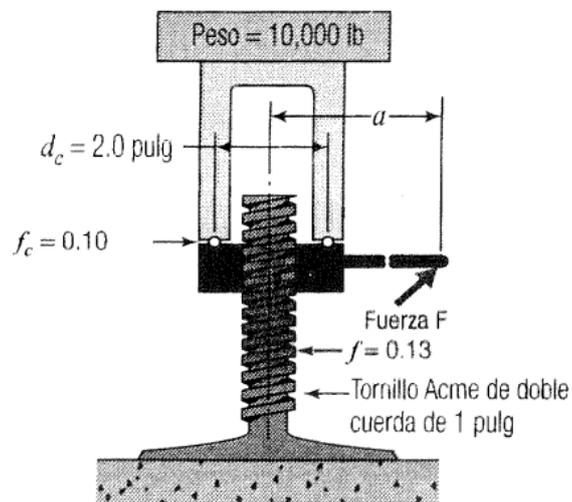


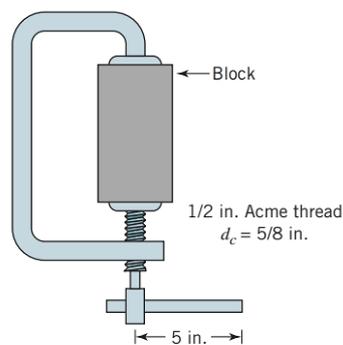
Figura 27. Mordaza en forma de C

- 2) Un gato mecánico con un tornillo de doble rosca Acme de 1 pulg se usa para elevar una carga de 10000 lb. Se usa un collarín de empuje sencillo de 2,0 pulg de diámetro medio. Los coeficientes de fricción de carrera se estiman en 0,13 y 0,10 para  $f$  y  $f_c$  respectivamente.
- Determine el paso, el avance, la profundidad de la cuerda, el diámetro medio de paso, y el ángulo de avance del tornillo.
  - Estime el par torsión inicial para elevar y bajar la carga.
  - Estima la eficiencia del gato al elevar la carga.



**Figura 28. Gato mecánico**

- 3) Una prensa ordinaria en forma de C usa una rosca un Acme de 1/2 pulg y un collarín de 5/8 de pulg., de diámetro medio. Estime la fuerza requerida en el extremo de un mango de 5 pulg., para desarrollar una fuerza de presión de 200 lb



**Figura 29. Prensa ordinaria**



- 4) El elevador motorizado que se muestra en la figura utiliza un tornillo motorizado Acme para elevar la plataforma, que pesa un máximo de 3000 lb cuando está cargada. Obsérvese que la tuerca, que está fijada a la plataforma, no gira. El collarín de empuje del tornillo de potencia presiona contra la estructura de soporte, como se muestra, y el par de accionamiento del motor se suministra al eje de accionamiento por debajo el collarín de empuje, como se indica. La rosca es una Acme de 1 pulgada con 4 hilos por pulgada. El coeficiente de fricción de la rosca es 0,40. El radio medio del collarín es de 2,0 pulgadas y el coeficiente de fricción del collarín es de 0,30. Si la potencia nominal del motor es de 7,5 CV, ¿qué velocidad máxima de elevación de la plataforma (pies/min) podría especificarse sin exceder la potencia nominal de salida de la unidad de accionamiento del motor? (Anote cualquier aproximación utilizada en sus cálculos).

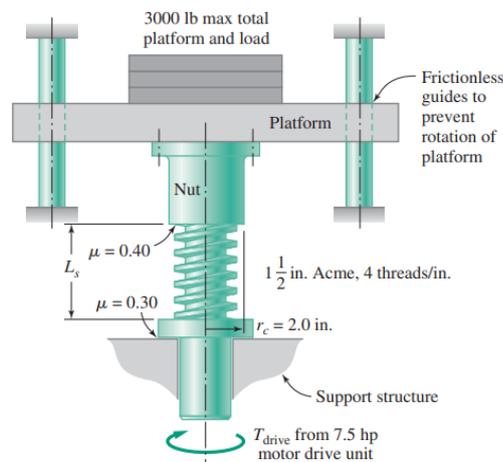


Figura 30. Elevador motorizado



## Cuarta unidad

### Semana 13

#### Resortes

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 4	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 13	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

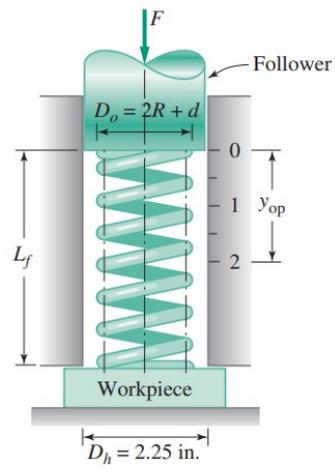
**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

- I. **Propósito:** el estudiante será capaz de analizar y diseñar resortes helicoidales de compresión.
- II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.
  - 1) Un resorte helicoidal de compresión se forma mediante alambre de piano de 2.5 mm pulg. de diámetro. Tiene un diámetro exterior de 31 mm con extremos sencillos esmerilados y 14 espiras totales.
    - a) ¿Cuál debe ser la longitud libre para asegurar que cuando el resorte se comprima sólido, el esfuerzo de torsión no exceda el esfuerzo de fluencia? Es decir, ¿es seguro cuando está sólido?
    - b) ¿Qué fuerza se necesita para comprimir este resorte hasta cerrarlo?
    - c) Estime la razón del resorte.
    - d) ¿Existe alguna posibilidad de que el resorte se pandee durante el servicio?



- 2) Si se desea hacer un resorte helicoidal a compresión con un alambre de 2 mm de diámetro, diámetro exterior de 19 mm, 10 espiras activas y extremas cerradas y esmeriladas. Se usará el alambre de acero para resortes menos cara y no se aplicará ajuste previo.
- a) Calcule la carga estática máxima que pueda aplicarse sin que resulte más de 2 % de deformación permanente.
  - b) ¿Cuál es la constante de elasticidad?
  - c) ¿Cuál deberá ser la longitud del resorte con objeto de que lleguen a tocarse todas las espiras cuando se aplica la carga determinada en el inciso (a)?
  - d) ¿Podría haber problemas de pandeo si una de las placas en el extremo puede inclinarse libremente?
- 3) Se necesita un resorte helicoidal de acero y compresión a escuadra y esmerilados, al cual se le aplicara ajuste previo. La carga puede considerarse estática. La carga de trabajo máximo es 90 lb. Se requiere de una fuerza de 40 lb cuando del resorte se alarga 1,5 pulg. Use la tolerancia de choque recomendada y un acero que tenga  $S_u = 200 \text{ klb/pulg}^2$ . Para una razón  $C = 8$ , determine los valores apropiados para  $D$ ,  $d$ ,  $N$  y  $L_f$ .
- 4) Un muelle de compresión de espiral helicoidal debe ser diseñado para ejercer una fuerza estática de 100 lb cuando el resorte se comprime 2.0 pulgadas de su longitud libre, y debe encajar dentro de un agujero cilíndrico de 2,25 pulgadas de diámetro. El entorno es aire de laboratorio. Diseñe un resorte adecuado para esta aplicación. Sólo se fabricarán cinco resortes de este tipo. Se desea un factor de seguridad de diseño de diseño de 2.



**Figura 31. Muelle de compresión**



## Semana 14

### Frenos y embragues

Sección: .....	Apellidos : .....
Docente :	Nombres : .....
Unidad : Unidad 4	Fecha: ...../...../..... Duración: 90 min
Semana : Semana 14	Tipo de práctica: Individual ( ) Equipo ( x )

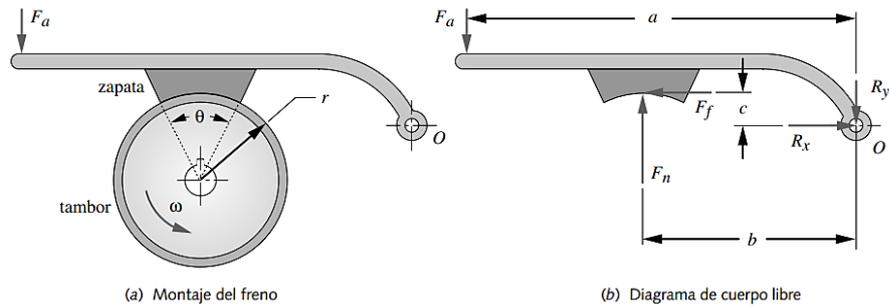
**Instrucciones:**

1. Desarrollar un problema o problemas con el acompañamiento del docente.
2. Organizarse en forma individual o en equipo (2 como máximo).
3. Desarrollar el/los problemas indicados por del docente y presentar su procedimiento en forma ordenada, los resultados respectivos y su conclusión.

I. **Propósito:** el estudiante será capaz de analizar las características, material y cargas que interviene en la selección y/o diseño de frenos y embragues.

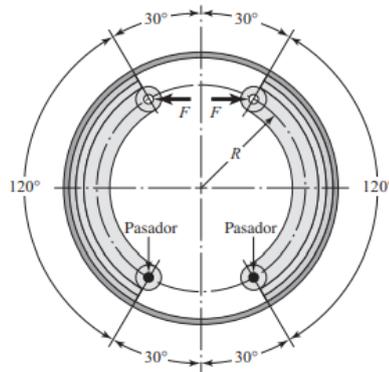
II. **Descripción de la actividad a realizar.** Leer detenidamente el enunciado de los problemas, y desarrollar ordenadamente y analizar los resultados para llegar a una conclusión.

- 1) Determine un tamaño adecuado y la fuerza requerida para un embrague axial de disco. Se proporciona El embrague debe transmitir 7.5 hp a 1 725 rpm, con un factor de servicio de 2. Suposiciones Utilice el modelo de desgaste uniforme. Suponga un solo disco seco con recubrimiento moldeado.
- 2) Para la configuración de freno de tambor mostrada en la figura, determine la razón  $c / r$  que proporcionará una razón auto energizante  $F_n/F_a$  igual a 2. También obtenga la razón  $c / r$  que causará autobloqueo. Se proporciona Las dimensiones son  $a = b = 6$ ,  $r = 5$ . Suposiciones Coeficiente de fricción  $\mu = 0.35$ .



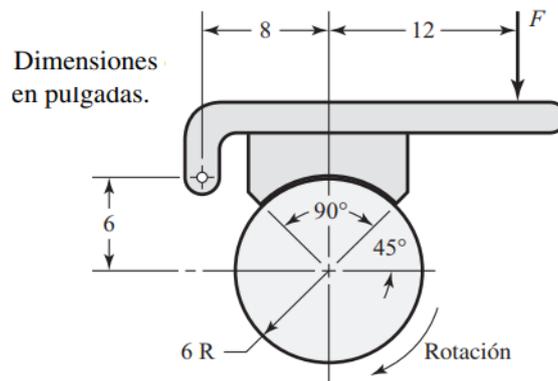
**Figura 32. Freno de tambor**

- 3) En la figura se ilustra un freno de tambor interno que tiene un diámetro interno del tambor de 300 mm y una dimensión  $R = 125$  mm. Las zapatas tienen un ancho de cara de 40 mm y ambas se accionan mediante una fuerza de 2.2 kN. El coeficiente medio de fricción es de 0.28.
- Encuentre la presión máxima e indique la zapata en la que esta ocurre.
  - Calcule el par de torsión de frenado que produce cada zapata y determine el par de torsión total de frenado.
  - Proporcione las reacciones resultantes en el pasador de la articulación.



**Figura 33. Freno de tambor interno**

- 4) El freno de mano de tipo bloque que se muestra en la figura tiene un ancho de cara de 1.25 pulg. y un coeficiente de fricción medio de 0.25. Para una fuerza de accionamiento estimada de 90 lbf, determine la presión máxima en la zapata y el par de torsión de frenado.

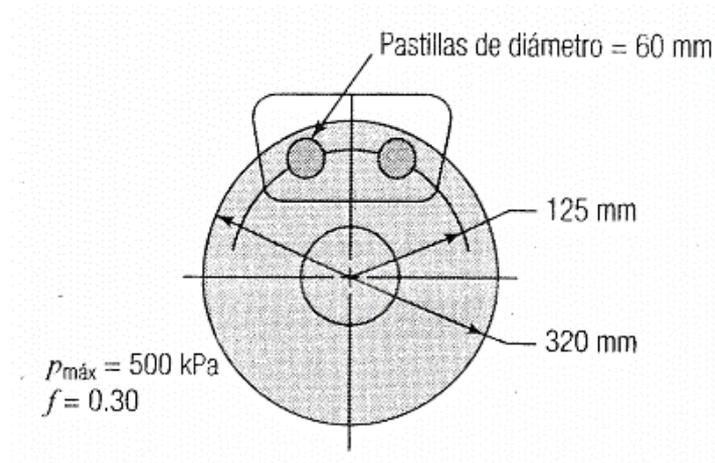


**Figura 34. Freno de mano**

- 5) Un embrague de plato tiene un solo par de superficies de fricción de contacto con DE igual a 250 mm y DI de 175 mm. El valor medio del coeficiente de fricción es de 0.30 y la fuerza de accionamiento es de 4 kN.
  - a) Calcule la presión máxima y la capacidad del par de torsión mediante el modelo de desgaste uniforme.
  - b) Determine la presión máxima y la capacidad del par de torsión con el modelo de presión uniforme.
  
- 6) Se debe diseñar un embrague hidráulico de discos múltiples (en baño de aceite) para transmitir un par torsión de 700 lb. Pulg. El diámetro exterior del disco debe ser de 4 pulg. Los valores de diseño para los discos de acero y el material de fricción moldeado que se debe usar son  $\rho_{\max} = 200 \text{ lb/pulg}^2$  y  $f=0,06$  (en baño de aceite). Determine los valores apropiados para el diámetro interior del anillo, el número total de discos y la fuerza de sujeción.
  
- 7) Un freno de disco similar al mostrado en la figura, usa una mordaza doble. Cada mitad tiene una pastilla redonda de 50 mm de diámetro de diámetro en cada lado de disco. El centro del contacto de cada una de las cuatro pastillas está en un radio de 125 mm. El diámetro exterior del disco es 320 mm. Las pastillas tienen un recubrimiento tejido que proporciona un coeficiente de fricción de 0,30 aproximadamente, La presión promedio en las pastillas se limitara a 500 KPa.



- a) ¿Qué fuerza de sujeción debe proporcionarse con objeto de desarrollar una presión límite en pastilla?
- b) ¿Con la fuerza de sujeción, ¿Qué par de torsión de frenado aproximado se obtiene?



**Figura 35. Freno de disco**



## Referencias

- Buynas, R. y Nisbett, J. (2014). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (10.ª ed., pp. 815-823). Mc. Graw Hill.
- Collins, J. (2010) *Mechanical Design of Machines Elements and Machines*. (2.º ed.). John Wiley & Sons.
- Juvinall, R. (2013). *Diseño de elementos de máquina*. (2.ª ed.). McGraw Hill.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Maquinas, un enfoque integrado* (4.ª ed., pp. 738-762). Pearson Educación.