ÁRBOLES Y EJES

ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Ing. Carlos Barrera 2026

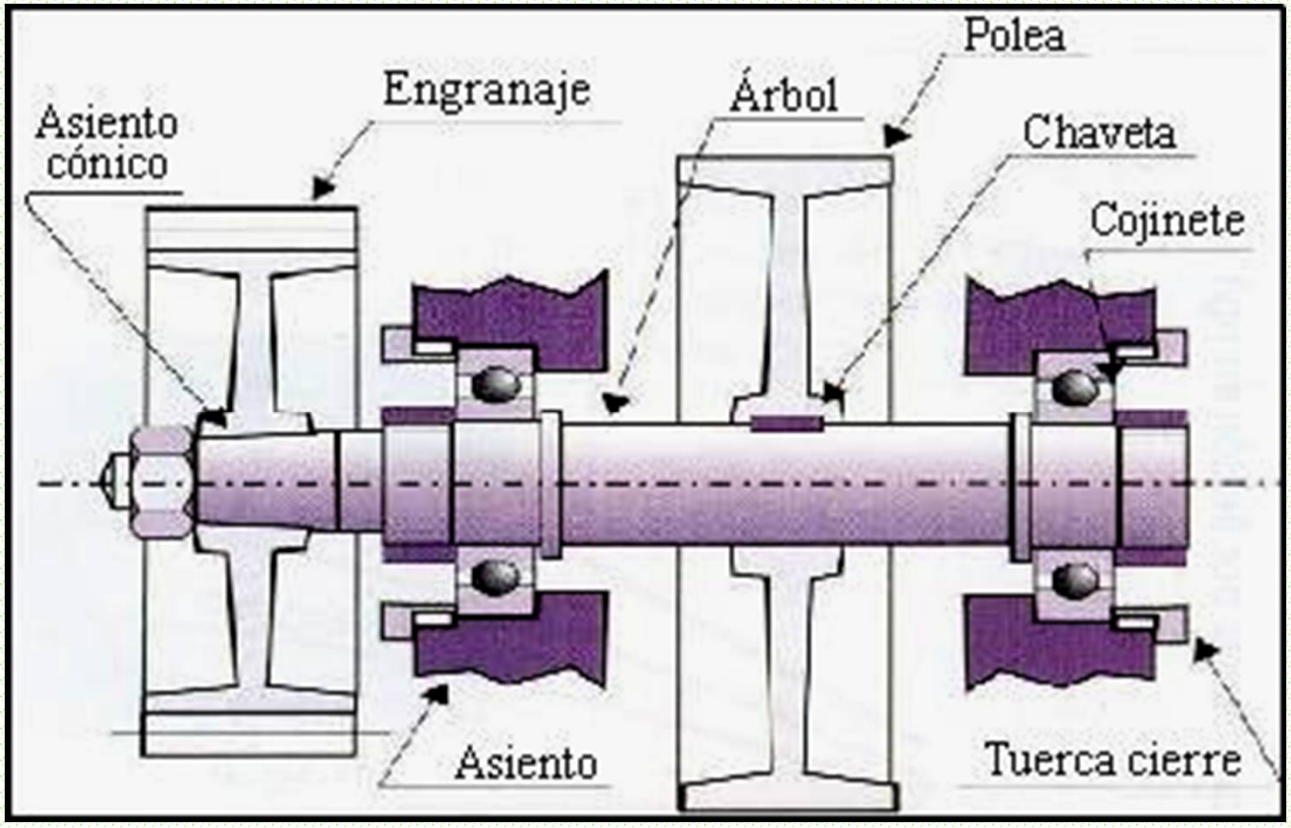
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

ÁRBOL: barra cilíndrica giratoria. Se utiliza para transmitir potencia mediante dispositivos fijos a él, como ser, engranajes, poleas, levas, poleas para cadenas, etc. Por lo general, está sujeto a cargas de flexión y torsión.

EJE: barra fija que se utiliza para soportar a diversos elementos de máquinas giratorios, como poleas, engranajes, etc. Generalmente está sujeto solo a cargas de flexión.



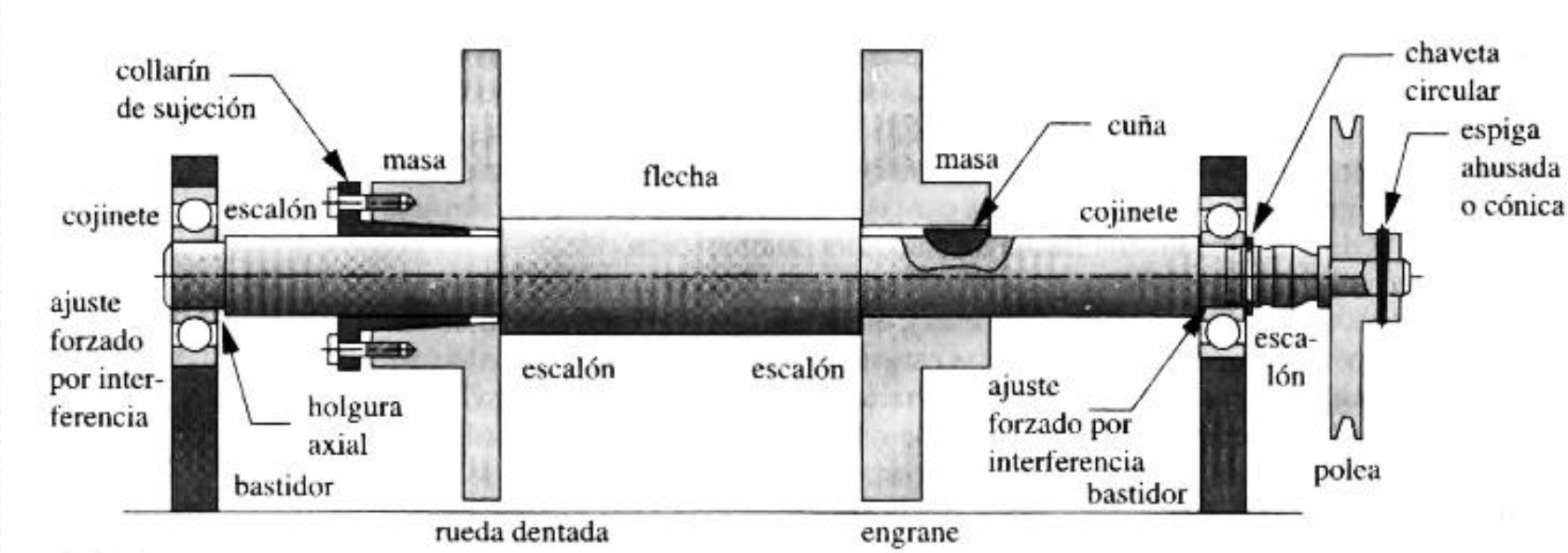
Ing. Carlos Barrera

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS





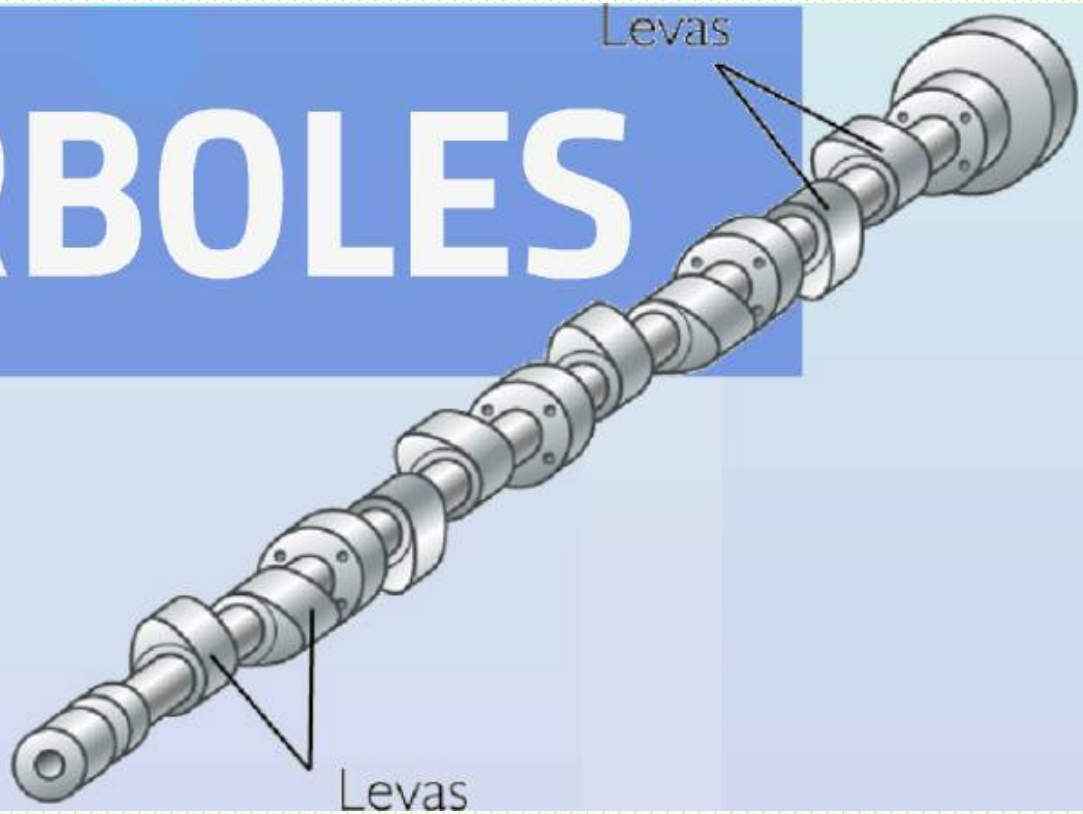
17:47

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

ÁRBOLES



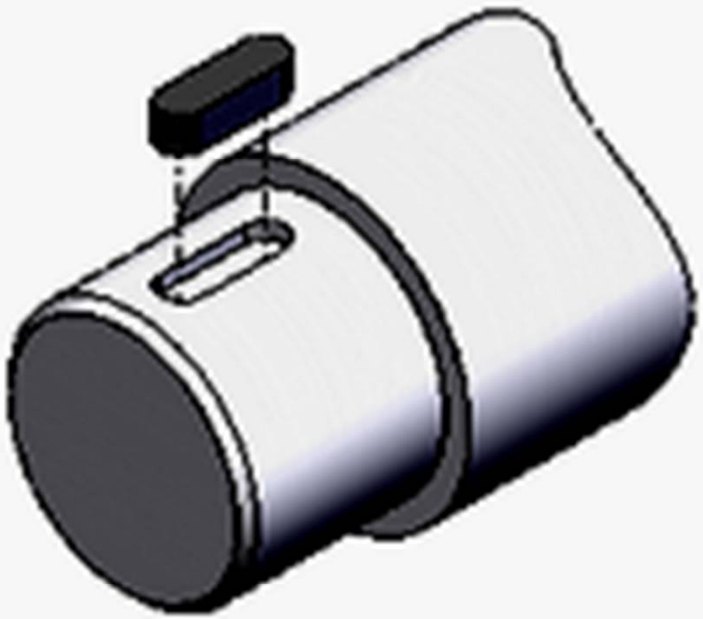
17:47

Ing. Carlos Barrera

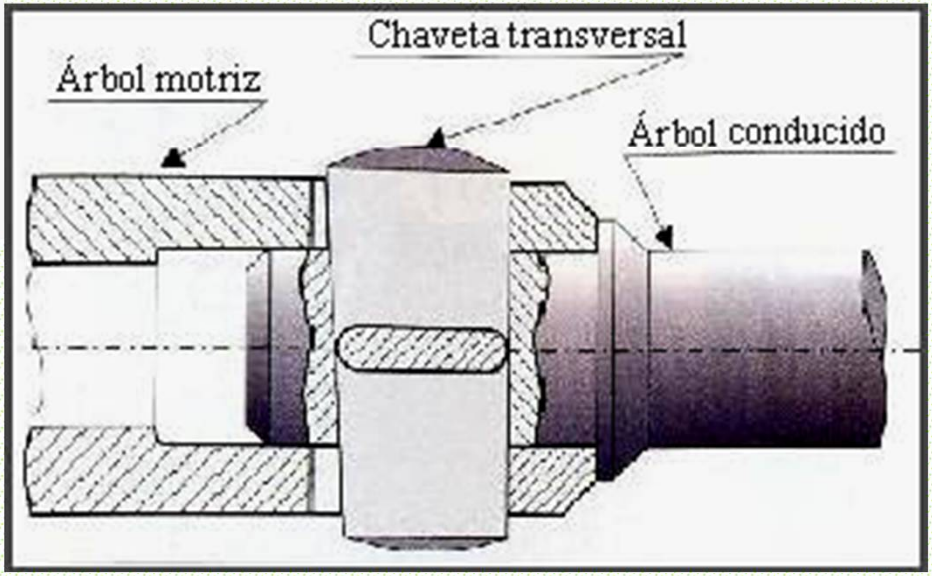
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS







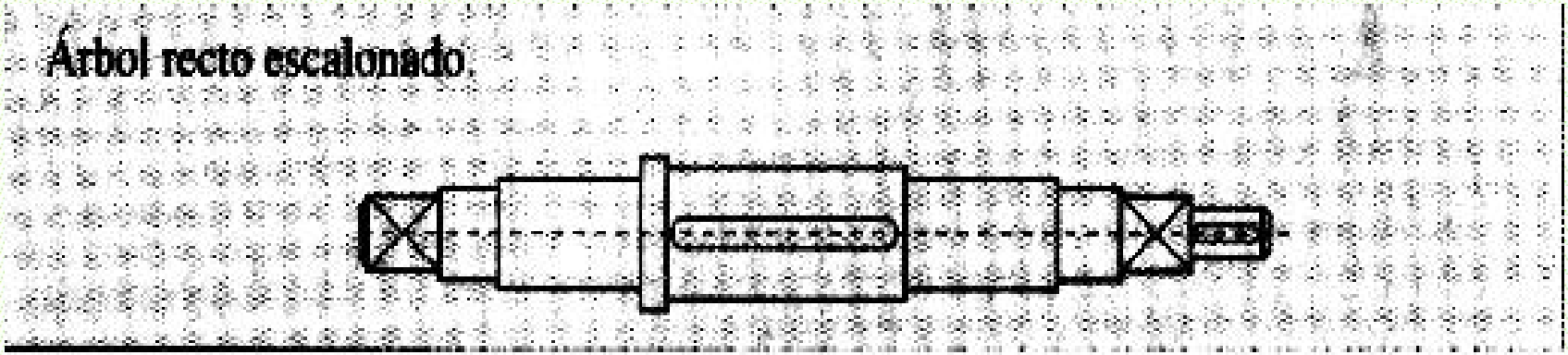
17:47

Ing. Carlos Barrera

TIPOS DE ÁRBOLES

1) Según su configuración longitudinal, pueden dividirse en:

- Árboles rectos: Son los más comunes y poseen simetría respecto de su eje geométrico de giro. Pueden ser macizos, huecos, con sección transversal constante o escalonada a lo largo de su longitud.

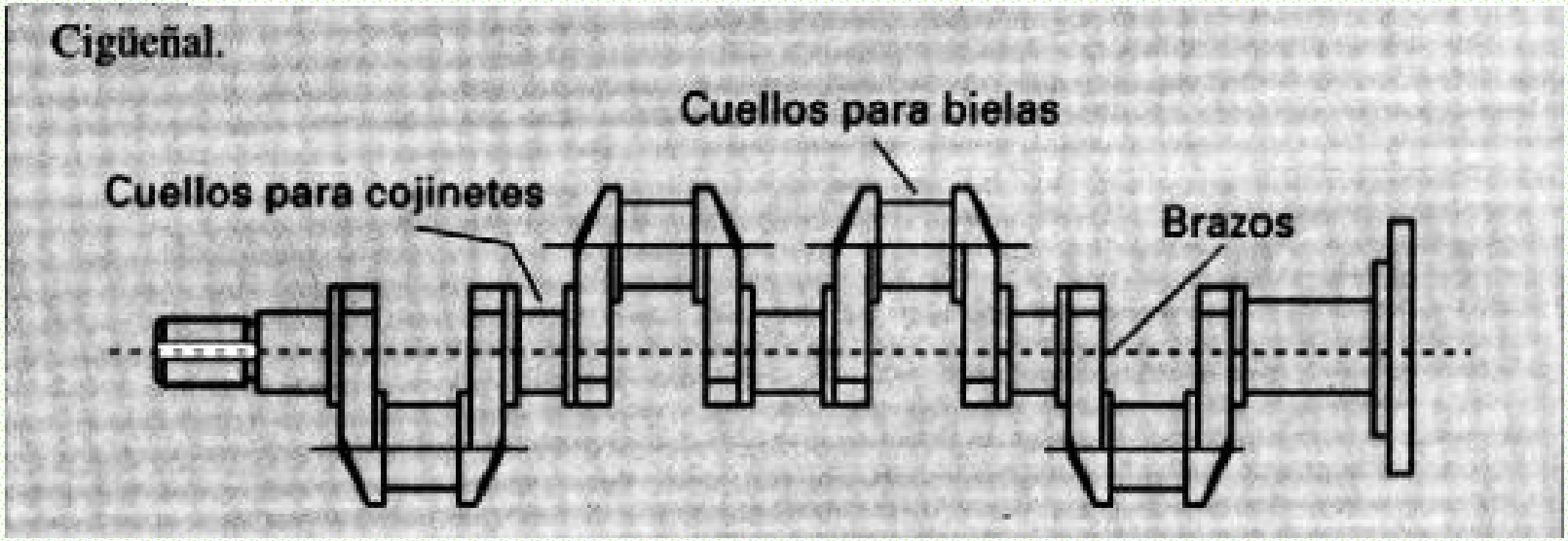


•Árboles acodados: son aquellos que se utilizan para convertir movimiento de rotación en traslación y viceversa.
El caso más típico es de los cigueñales.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

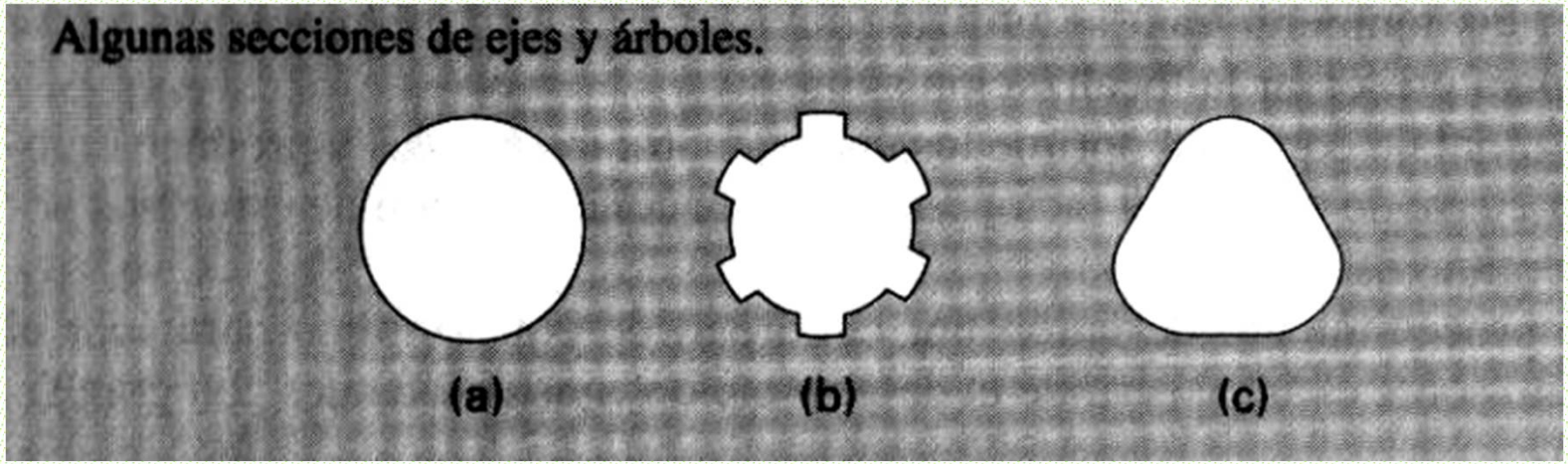
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



2) Según la forma de la sección transversal se pueden clasificar en:

- **sección circular.**
- **Sección acanalada.**
- **Sección poligonal.**



Ing. Carlos Barrera

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



17:47

Ing. Carlos Barrera

Entre las causas de falla más importantes de ejes y árboles pueden mencionarse:

• **Errores de diseño**. Salvando la situación anormal de un calculo defectuoso, los errores de diseño mas comunes se someten al generar concentración de tensiones en puntos fuertemente solicitados y al diseñar incorrectamente las secciones del árbol donde van tallados los cubos de ruedas a base de uniones aprisionadas o por contracción (ajuste por interferencia). El mal diseño de los chaveteros puede dar lugar a roturas frágiles por esa zona.

•**Incorrecta elección del material.**

•Las causas del falla más comunes por esta razón son: 1. Incorrecta composición química y metalúrgica. 2. Posible descarburación superficial. 3. Poca resistencia a la corrosión cuando el árbol haya de trabajar en ambientes corrosivos. 4. Existencia de defectos metalúrgicos (inclusiones, etc.) en el seno del material. 5. Poca resistencia al desgaste, en el caso de tener montados cojinetes de deslizamiento, pueden llevar a un fallo prematuro.

•**Incorrecta fabricación del elemento.**

•**El fallo de los árboles por esta causa tiene su origen en: 1. Defectos inherentes al sistema de fabricación empleado (forja, moldeado, maquinado) 2. Tratamientos térmicos (o químicos) inadecuados, 3. Marcas de identificación inadecuadas (en cuanto a tamaño y localización) 4. Tratamientos superficiales inadecuados (mentalización, cromado duro, etc.) 5. Defectos de fabricación que conducen a un desequilibrio del elemento y que se traducen en fuertes vibraciones que originan su rotura por fatiga.**

•**Errores de montaje.**

•**Los fallos mas frecuentes en los árboles, por esta causa, se deben a: 1. Desalineamiento de los árboles con los cojinetes de apoyo. 2. Desajustes en los acoplamientos. 3. Chaveteros y ajustes con los cubos flojos o con holguras.**

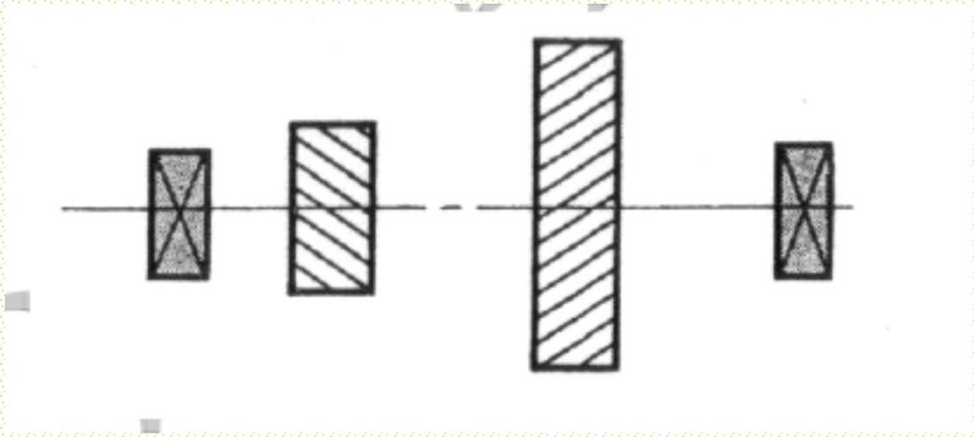
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

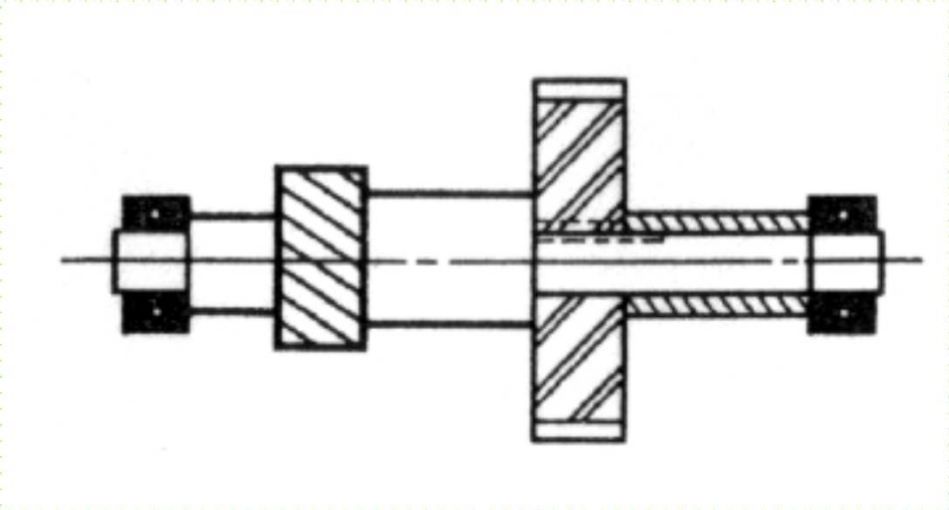
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DE UN EJE.

- **CASO 1: Un eje con dos engranajes debe ser soportado por dos cojinetes.**

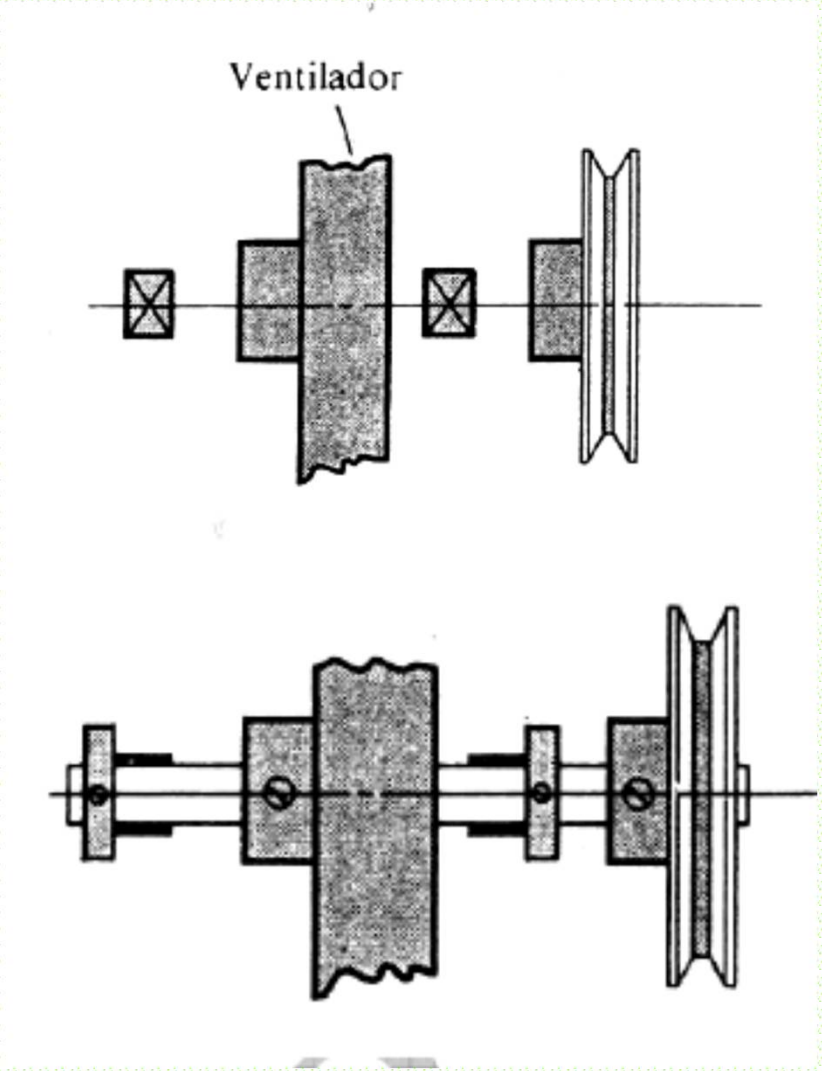




En este caso el eje se halla sometido a flexión, torsión y carga axial.

Ing. Carlos Barrera

- **CASO 2: Montaje de un eje para un ventilador y polea. El eje en este caso está sometido solo a torsión y flexión.**



Momento Torsor- Potencia

En cualquier sistema en rotación, la potencia instantánea es el producto del par de torsión por la velocidad angular

$$P = T\omega$$

Consideraciones a tener en cuenta en el dimensionamiento

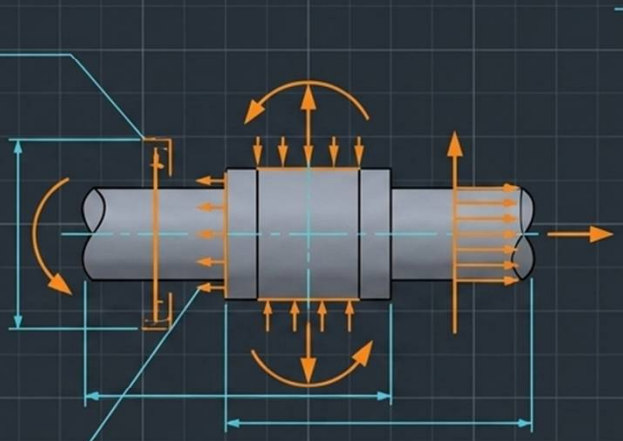
- Determinar las cargas que actúan sobre el mismo en magnitud, dirección y sentido.
- Fijar las posiciones de los apoyos, cojinetes y elementos montados sobre el mismo.
- Obtener el diagrama de Momentos flectores.
- Cuando las cargas no actúan en el mismo plano, es necesario proyectarlas sobre dos planos perpendiculares.

Análisis de Cargas y Tensiones Estáticas

Determinación de Cargas

Engranajes: Flexión, torsión y carga axial.

Ventiladores/Poleas: Torsión y flexión.



Relación de Potencia

Potencia instantánea = Par de torsión × Velocidad angular.

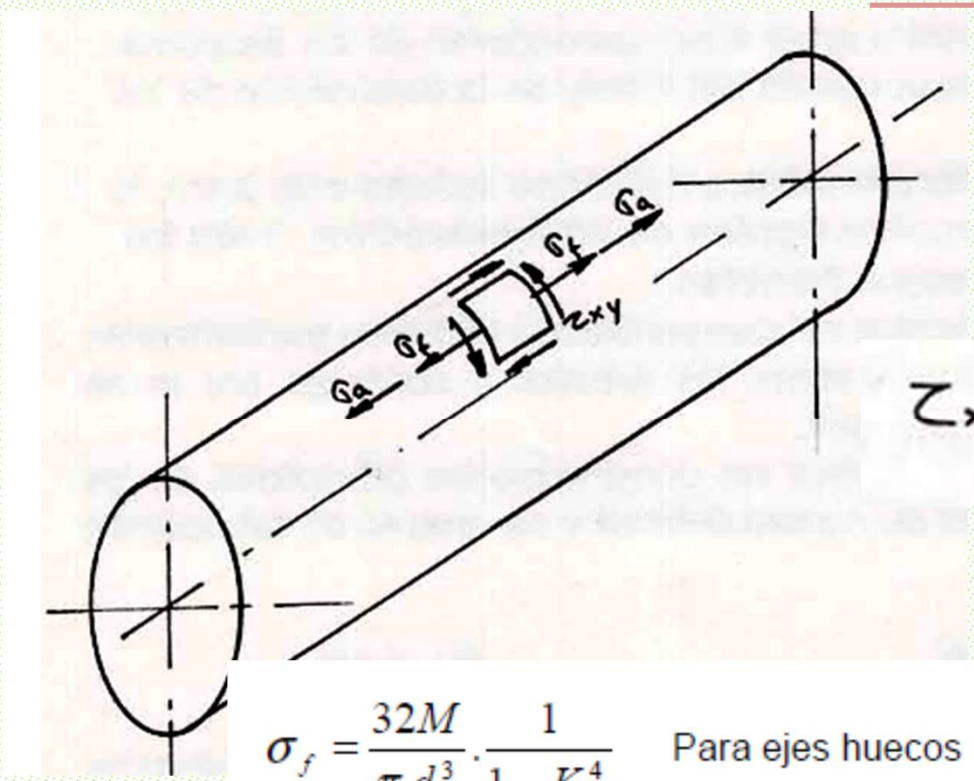
Criterios de Falla por Fatiga (Esfuerzos Combinados)

- Línea de Goodman
- Línea de Gerber
- ASME Elíptica
- Línea de Soderberg

Gemini Notebook

- Determinar el diámetro en la sección critica del árbol.
- Verificar la relación de rigidez.
- Cuando el árbol opera a altas velocidades, es necesario considerar las frecuencias naturales de las vibraciones torsionales y transversales.

TENSIONES ESTÁTICAS EN LA SUPERFICIE DE UN ÁRBOL



$$\sigma_f = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 M_T}{\pi d^3} \qquad \sigma_{ax} = \frac{4 . F_{ax}}{\pi d^2}$$

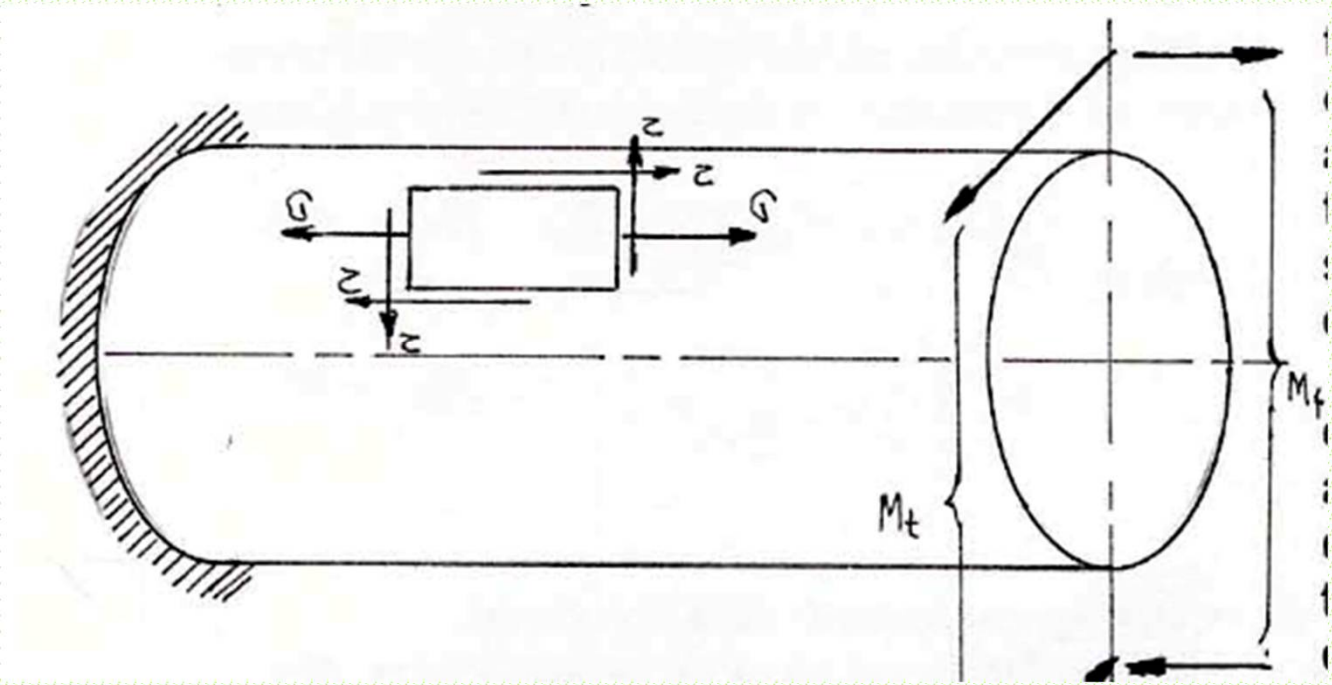
$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi d^3} \pm \frac{4 F_{ax}}{\pi d^2}$$

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi . d_o^3} . \frac{1}{1 - K^4}$$ Para ejes huecos

Para un estado tensional doble:

$$Wd = \frac{1+\mu}{3E}\left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2\right]$$

$$\frac{\sigma_f}{n} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$



Soderberg $\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$

mod-Goodman $\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$

Gerber $\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$

ASME-elliptic $\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1$

Los esfuerzos fluctuantes debido a la flexión y a la torsión son:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \qquad \sigma_m = K_f \frac{M_m c}{I}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a c}{J} \qquad \tau_m = K_{fs} \frac{T_m c}{J}$$

$$\sigma_a = K_f \frac{32 M_a}{\pi d^3} \qquad \sigma_m = K_f \frac{32 M_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16 T_a}{\pi d^3} \qquad \tau_m = K_{fs} \frac{16 T_m}{\pi d^3}$$

Cuando se combinan estos esfuerzos y se tiene en cuenta la teoría de falla

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32 K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32 K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

El criterio de falla por fatiga de la línea de Goodman es

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}}\left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2\right]^{1/2}\right\}$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}}\left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2\right]^{1/2}\right\}\right)^{1/3}$$

Se pueden obtener expresiones similares para cualquiera de los criterios de falla

ED GOODMAN

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}}\left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2\right]^{1/2}\right\} \tag{7–7}$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}}\left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2\right]^{1/2}\right\}\right)^{1/3} \tag{7–8}$$

ED GERBER

$$\frac{1}{n} = \frac{8A}{\pi d^3 S_e}\left\{1 + \left[1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}}\right)^2\right]^{1/2}\right\}$$

$$d = \left(\frac{8nA}{\pi S_e}\left\{1 + \left[1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}}\right)^2\right]^{1/2}\right\}\right)^{1/3}$$

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$B = \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

ED ASME ELIPTICA

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3}\left[4\left(\frac{K_f M_a}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e}\right)^2 + 4\left(\frac{K_f M_m}{S_y}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y}\right)^2\right]^{1/2} \tag{7–11}$$

$$d = \left\{\frac{16n}{\pi}\left[4\left(\frac{K_f M_a}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e}\right)^2 + 4\left(\frac{K_f M_m}{S_y}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y}\right)^2\right]^{1/2}\right\}^{1/3} \tag{7–12}$$

ED SODERBERG

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}}\left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2\right]^{1/2}\right\} \tag{7–13}$$

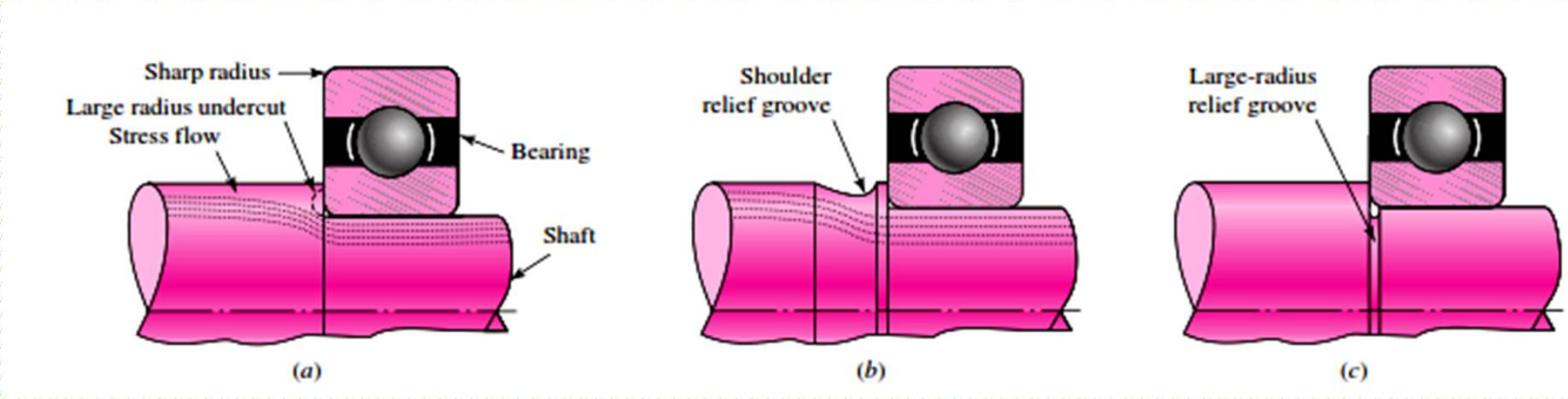
$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\left\{\frac{1}{S_e}\left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}}\left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2\right]^{1/2}\right\}\right)^{1/3} \tag{7–14}$$

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

CONCENTRACION DE ESFUERZOS



Métodos para reducir la concentración de esfuerzos en un resalte que sirve de apoyo a un rodamiento. a) Corte de radio grande b) Ranura rebajada detrás del resalte c) Ranura rebajada en el diámetro.

En la siguiente tabla se resumen algunos factores de concentración de esfuerzos

	Flexión	Torsional	Axial
Filete de hombro agudo r/d=0.02	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: redondeado r7d=0.1	1.7	1.5	1.9
Chaveta fresada r/d =0.02	2.2	3.0	—
Chaveta trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Ing. Carlos Barrera

DISEÑO POR RIGIDEZ

Deformación por Torsión

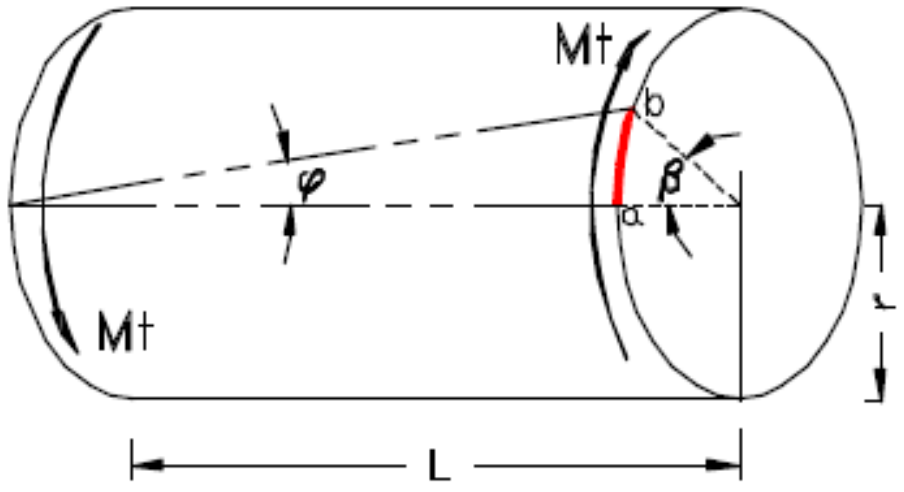
El momento torsor determina el giro de las secciones transversales. El ángulo de giro es :

$$\theta = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_0}$$

$$\theta = \frac{32 \cdot M_t \cdot l}{\pi \, d^4 \, G}$$

En un árbol escalonado:

$$\theta = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^{n} \frac{M_{ti} \, l_i}{I_{oi}}$$



La constante de Rigidez Torsional

$$k_t = \frac{M_t}{\theta} = \frac{\pi d^4 G}{32 l}$$

Algunos valores característicos del Angulo de Torsión.

0,08º/pie de longitud = 0,25º/m de longitud

Para árboles de transmisión la deformación se limita a 1º cada 20 diámetros

En árboles de máquinas, otros valores recomendados son:

Casos ordinarios:	**= 20 min/m**
Cargas variables:	**= 15 min/m**
Cargas bruscamentes reversibles	**= 10 min/m**

Deformación Transversal

El cálculo de la deflexión es importante porque se usa para establecer el espacio mínimo para colocar poleas, engranajes, ruedas para cadenas, etc. Para analizar esta deformación se trata el árbol como si fuera una viga recta de sección circular.
La deflexión o deformación transversal se lo llama FLECHA

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2}$$

Derivando

$$\frac{1}{EI} = \frac{dM}{dx} = \frac{d^3y}{dx^3}$$

$$Q = \frac{dM}{dx}$$

$$\frac{Q}{EI} = \frac{d^3y}{dx^3}$$

$$\frac{d^4y}{dx^4} = \frac{q}{EI}$$ Carga

$$\frac{d^3y}{dx^3} = \frac{Q}{EI}$$ Esfuerzo de Corte

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$ Momento Flector

$$\frac{dy}{dx} = \theta$$ Pendiente o Inclinación

y = deformación o flecha

Estas relaciones se emplean de diversas maneras para obtener la deformación de una viga

Algunos valores:

Para arboles de transmisión:

0,83 mm/m ó bien 0,01 pulg/pie de longitud entre soportes

En general para ejes de maquinarias la deformación admisible debe aproximarse a:

0,16 mm/m ó bien 0,002 pulg/pie

Para un engranaje recto o helicoidal de buena calidad los ejes deben tener una deformación menor:

0,127 mm ó bien 0,005 pulg.

La flecha de arboles que soportan engranajes debe ser menor a:

$$y \leqslant 0{,}3225 \text{ mm/b en mm}$$

b: ancho del dentado, en **mm**

Máximas tensiones de trabajo admisibles para árboles (Kg / cm2)

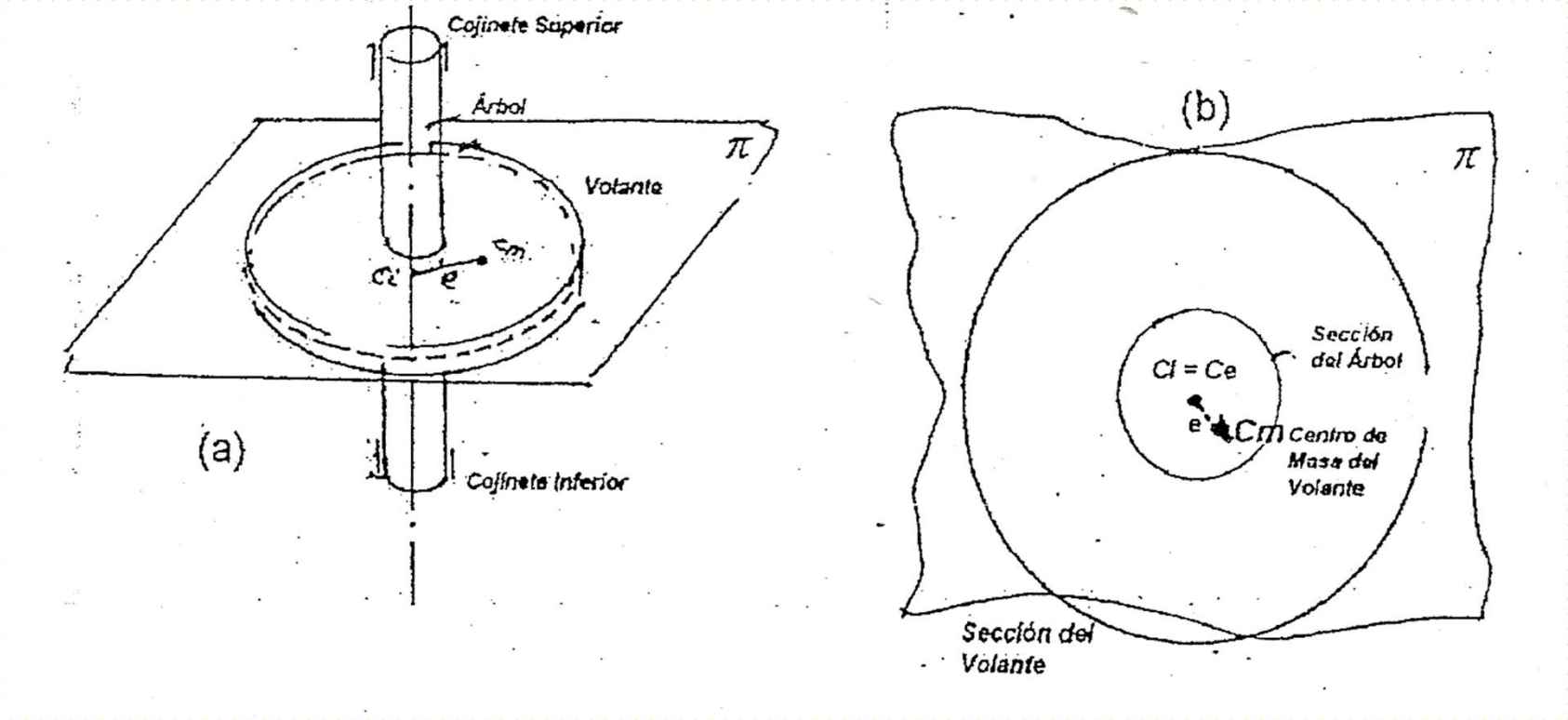
Calidad del material	*Flexión pura*	*Torsión pura*	*Tensiones combinadas*
Árboles de acero comercial, sin tener en cuenta los chaveteros	1120	560	560
Árboles de acero comercial, teniendo en cuenta los chaveteros	840	420	420
Acero comprado bajo especificaciones definidas	60% del límite elástico, pero no más del 36% de la resistencia a la rotura por tracción.	30% del límite elástico, pero no más del 18% de la resistencia a la rotura por tracción.	30% del límite elástico, pero no más del 18% de la resistencia a la rotura por tracción.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

VELOCIDAD CRÍTICA DE UN ÁRBOL

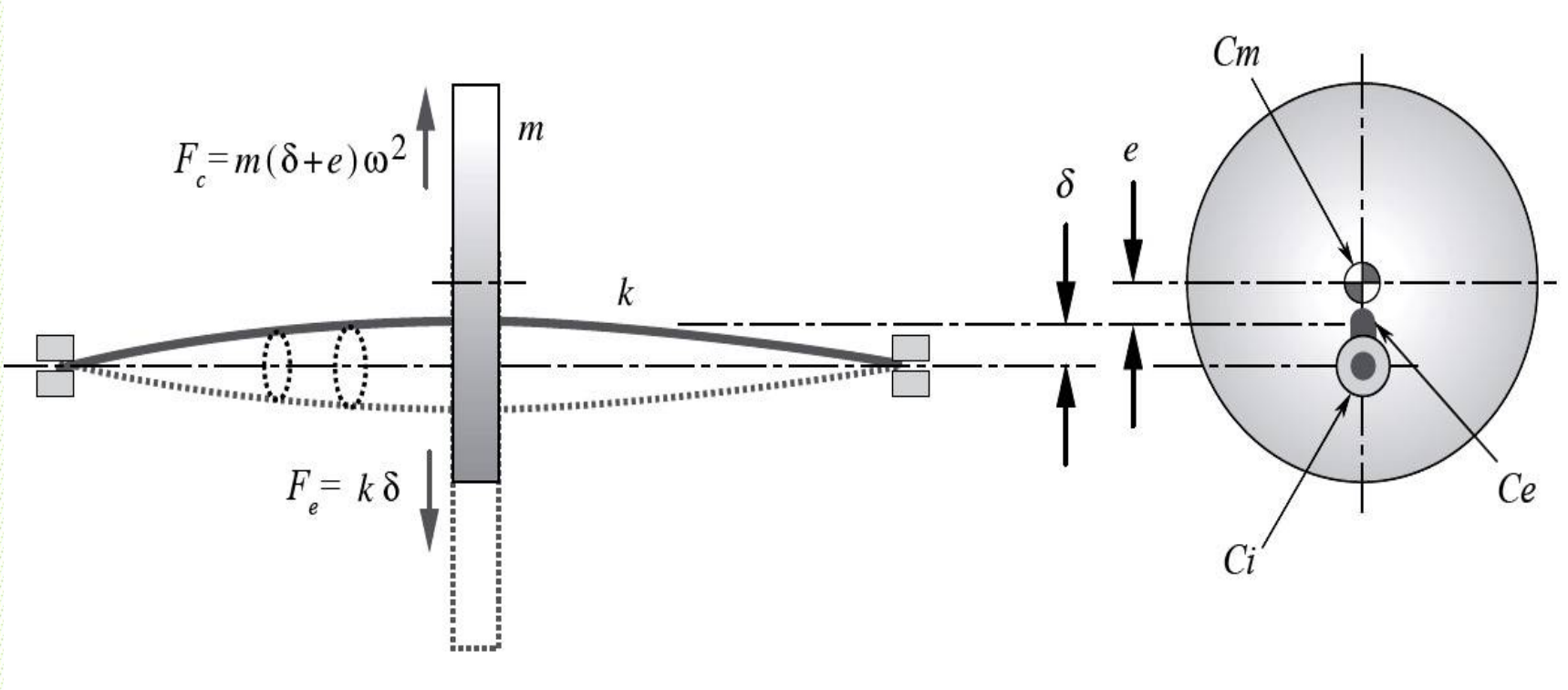


En condición de reposo, la situación de los puntos está representada en el esquema, donde Ci coincide con Ce ya que no hay deformación del árbol, plástica o elástica.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



Fuerza Centrífuga: $F_C = m \cdot \omega^2 \cdot (a + e)$

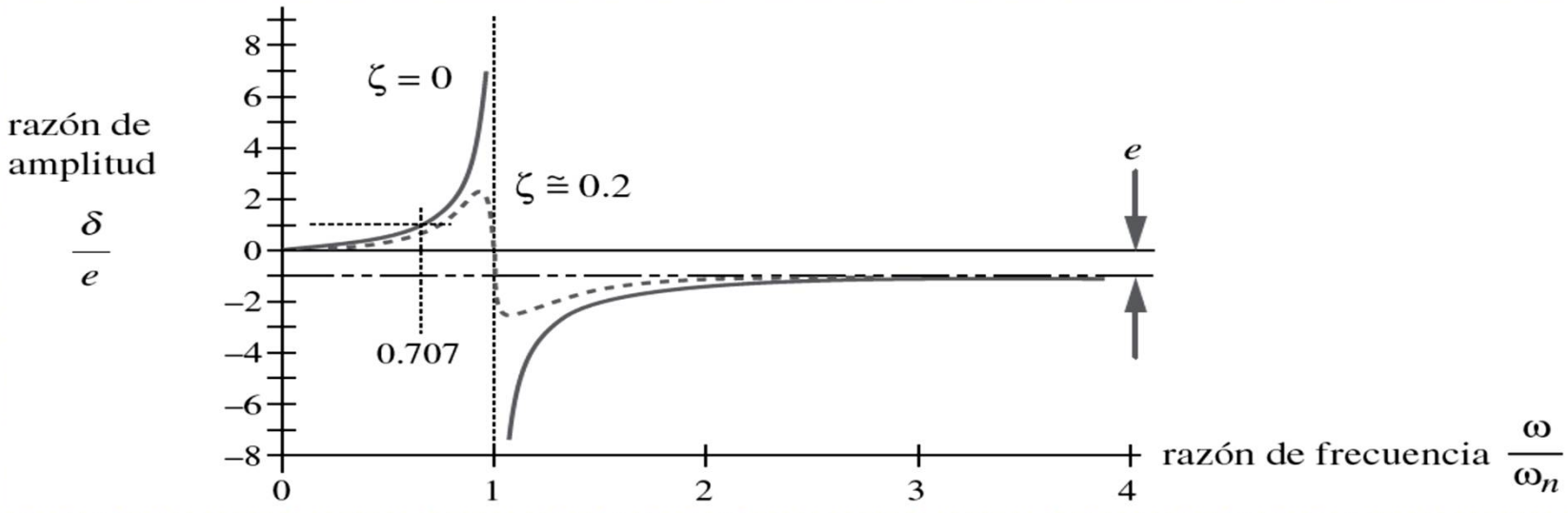
Fuerza Elástica: $F_{el} = k \cdot a$

a: es la deformación o flecha del árbol

$$m \cdot \omega^2 \cdot (a + e) = k \cdot a$$

Despejando a, y recordando que la pulsación natural de un sistema elástico con un grado de libertad es $p = \sqrt{k/m}$, tendremos:

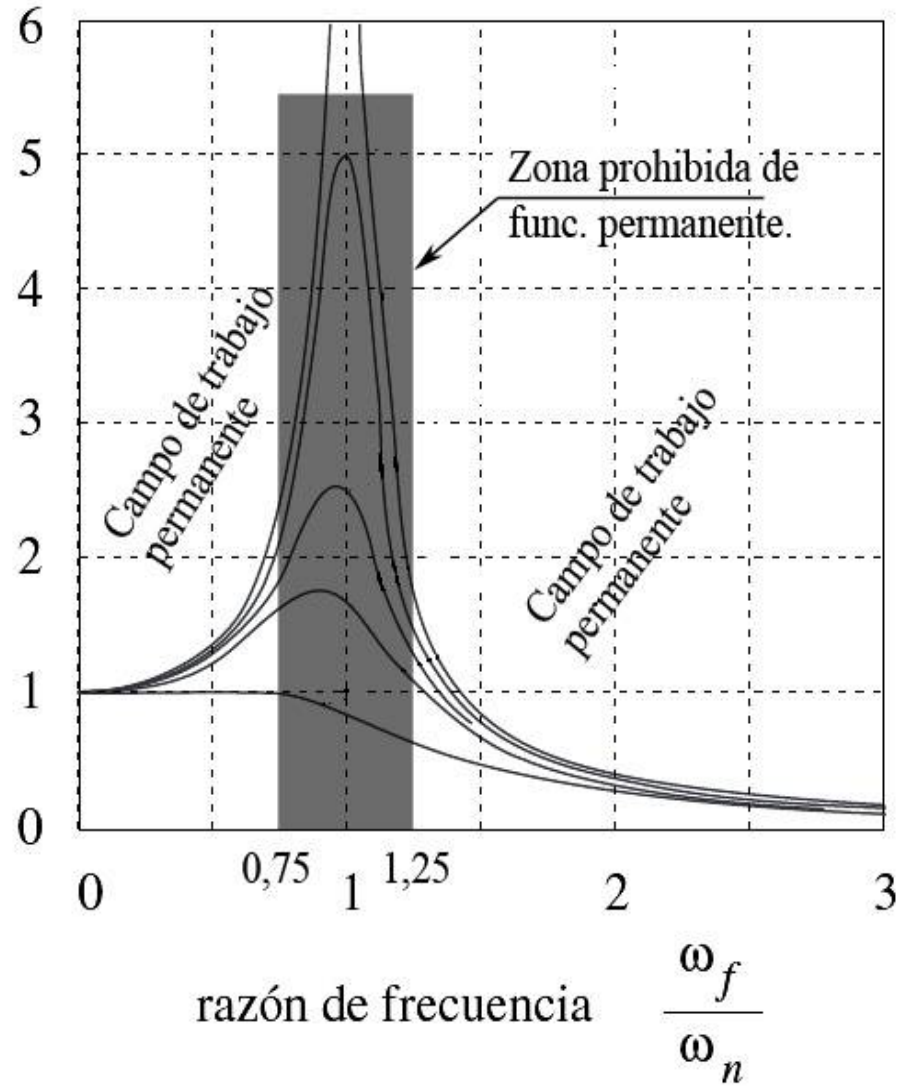
$$a = e \cdot \frac{\left(\frac{\omega}{p}\right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{p}\right)^2} = e \cdot \frac{r^2}{1 - r^2}$$



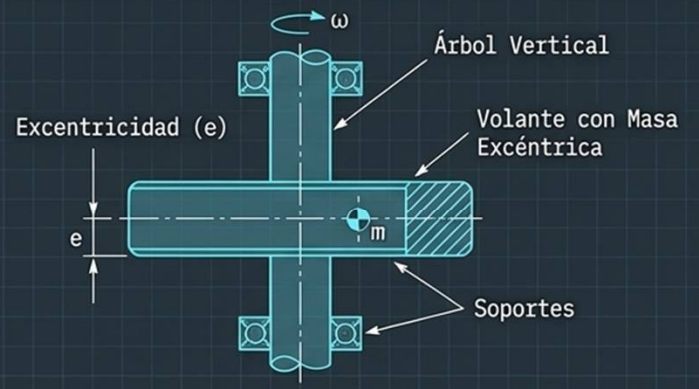
Cuando la velocidad angular de giro ш tiende a la pulsación natural p, la deformación tiende a valores infinitamente grandes "a" tiende a infinito.

Antes de llegar a valores muy grandes, el árbol romperá o se deformará en forma permanente o fallarán los cojinetes de apoyo o habrá fatiga.

A la situación en que ш = p se la denomina **velocidad crítica del árbol** y al número de revoluciones que le corresponde, **número de revoluciones crítico.**



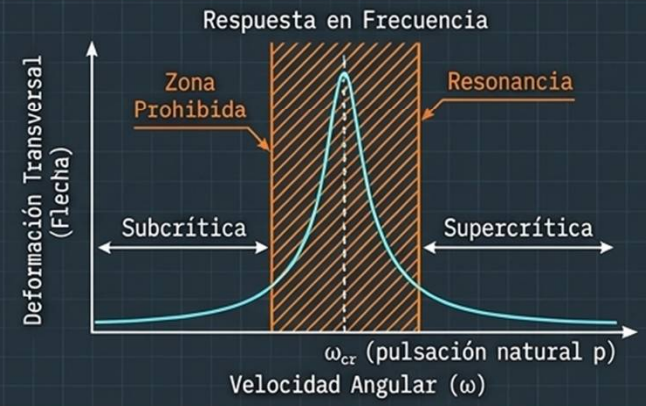
Comportamiento Dinámico y Velocidad Crítica



Modelo y Consecuencias

Concepto Principal: Cuando la velocidad angular de giro (ω) tiende a la pulsación natural (p), la deformación transversal (flecha) tiende a infinito.

Consecuencias en Resonancia: Rotura, deformación plástica permanente, fallo de cojinetes o fatiga extrema.



Zonas de Trabajo y Análisis

Zonas de Trabajo: La velocidad de trabajo debe estar alejada un 25% (por encima o por debajo) de la velocidad crítica. En funcionamiento post-crítico, la zona de resonancia debe cruzarse lo más rápido posible.

Árboles con múltiples masas: Requieren matrices de coeficientes de influencia. n masas = n velocidades críticas (resonancias múltiples y distintos Modos de Vibración).

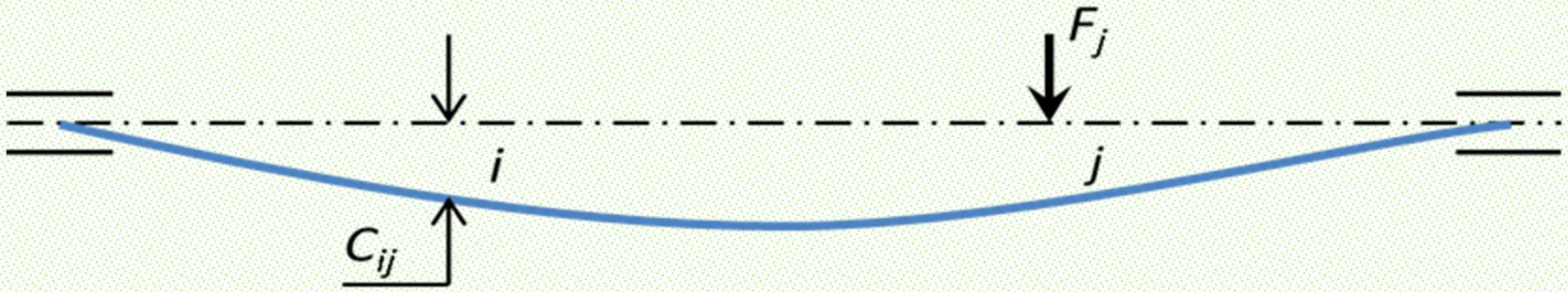
Gemini Notebook

En caso de funcionamiento post crítico, el paso por la zona de velocidad crítica debe realizarse lo más rápido posible, evitando que las amplitudes se tornen peligrosas. El motor o máquina motriz debe poseer una reserva de cupla suficiente para que exista poder de aceleración y se supere la zona riesgosa.

La velocidad de trabajo debe estar alejada en un 25% por encima o por debajo de la velocidad crítica.

COEFICIENTES DE INFLUENCIA

Dado que el eje es un cuerpo elástico, se utilizan coeficientes de influencia que son las deflexiones transversales en la ubicación i de un eje, debida a una carga unitaria en la ubicación j del eje.

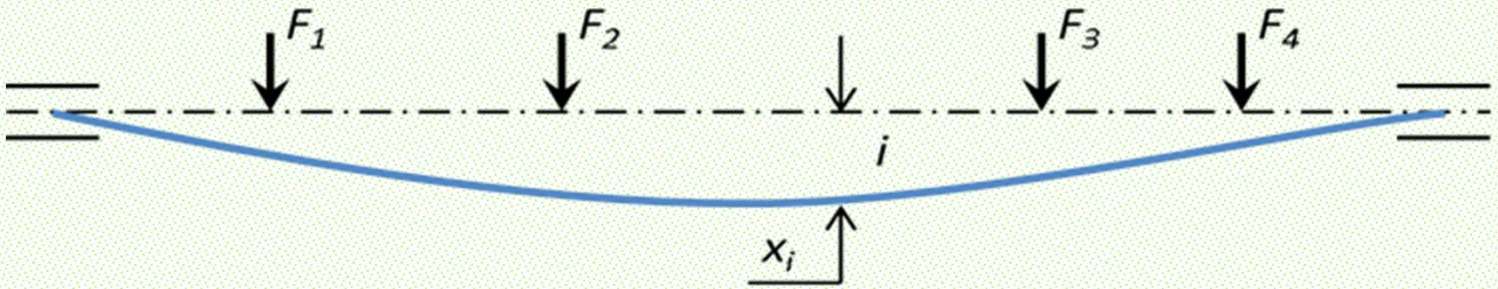


Dado que el sistema se supone lineal, si la carga en **j** es **Fj**, la deformación en **i** será ahora **Fj** veces mayor, es decir:

$$x_i = c_{ij} \cdot Fj \qquad (1)$$

Si hay varias **Fj** en distintos **j**, la deformación total en **i**, será:

$$x_i = c_{i1} \cdot F_1 + c_{i2} \cdot F_2 + c_{i3} \cdot F_3 + \ldots\ldots + c_{in} \cdot F_n$$



$$x_i = \sum_{j=1}^{n} C_{ij} \cdot F_j$$

En un árbol con varias masas se plantea un sistema de ecuaciones lineales con tantas incógnitas como masas estén acopladas. Se resuelve ese sistema para obtener las raíces correspondientes que permiten hallar las velocidades críticas.

Por ej: si el árbol tiene tres masas, las velocidades críticas son tres. Es decir que el sistema presenta resonancia a tres velocidades. Las transiciones entre resonancias se dan con distintas configuraciones del sistema masas-árbol que se denominan MODOS DE VIBRACIÓN

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

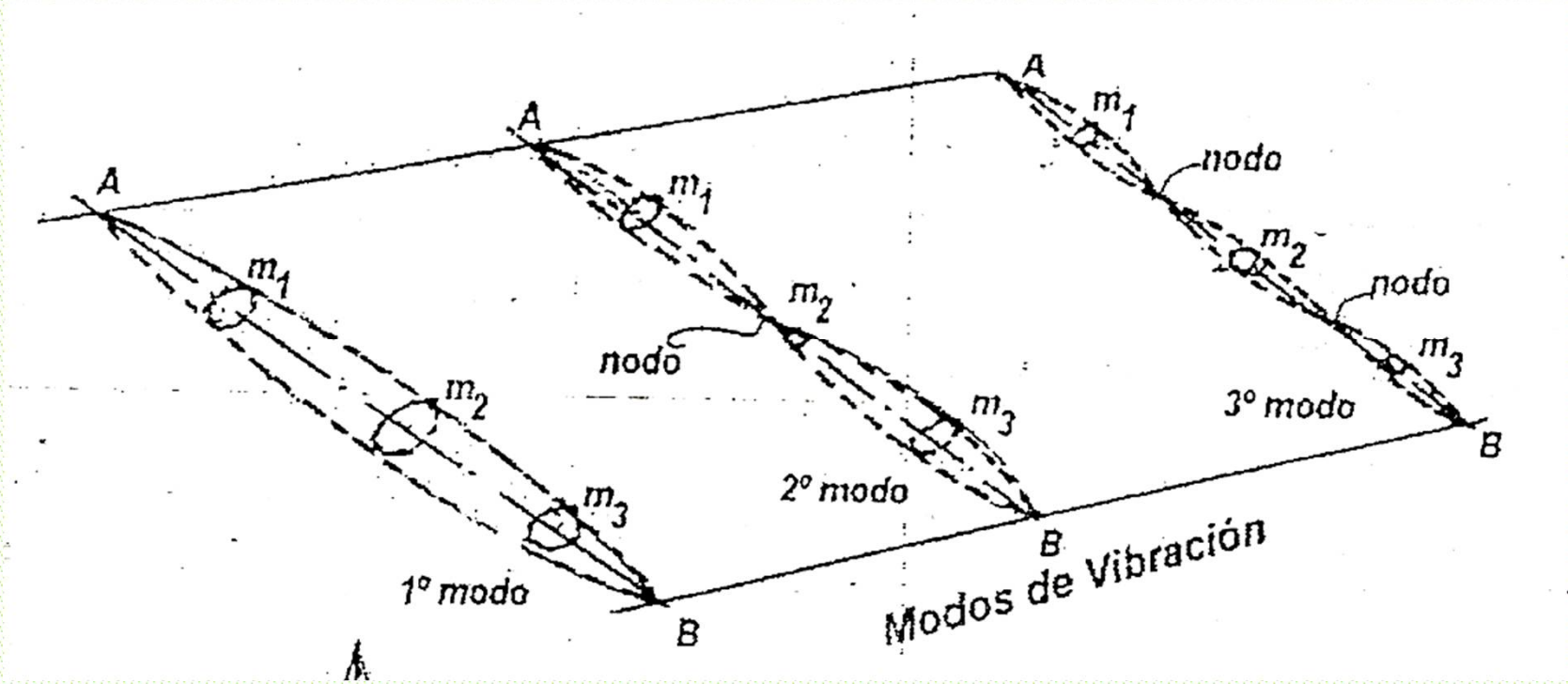
FACULTAD DE INGENIERÍA

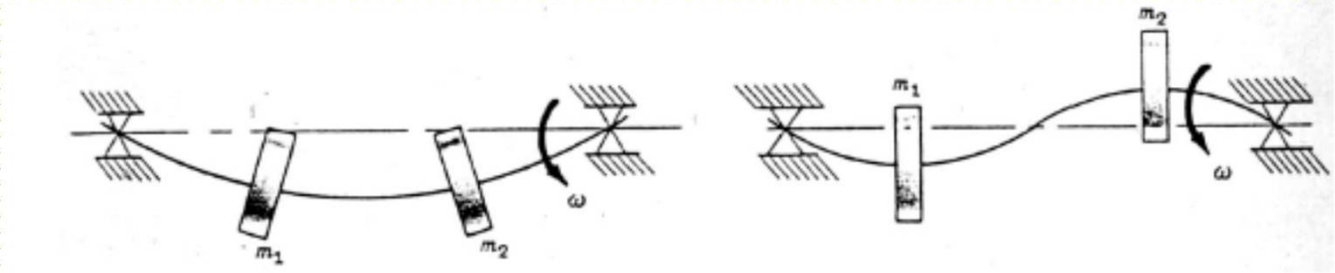
Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

17:47

Ing. Carlos Barrera

En la figura siguiente se observan los tres modos de vibración para el caso planteado.






Espectro de Selección de Materiales
Baja Carga / Uso Esporádico
SAE 1010 / 1020 | DIN St 42
Bajo costo de fabricación.
Endurecibles por cementación.
Acero comercial de resistencia mínima.
Uso General / Moderado
SAE 1045 | DIN St 50 o 60
El más usado. Mayor carbono = mayor dureza y resistencia mecánica.
Atención: Si se templa, sufre deformaciones y baja resistencia a la fatiga.
Alta Resistencia / Cargas Severas
SAE 4140 | SAE 4340
4140: Acero cromo-molibdeno de alta resistencia.
4340: Acero cromo-níquel-molibdeno.
Máxima tenacidad y resistencia a tracción/torsión.
Nota de Diseño
Dado que la rigidez suele ser el factor crítico, se prioriza el uso de aceros por su elevado módulo elástico.
Gemini Notebook

MATERIALES PARA ÁRBOLES Y EJES

SAE 1010 y SAE 1020: para árboles con baja carga o de uso esporádico . Bajo costo de fabricación. Se endurece mediante cementación.

SAE 1045: es el acero para árboles más usado, el mayor contenido de carbono le otorga mayor dureza, mayor resistencia mecánica y costo moderado. Cuando este acero se endurece por temple sufre deformaciones y baja su resistencia a la fatiga.

SAE 4140: es un acero al cromo molibdeno de alta resistencia que se emplea en ejes con mucha carga y donde se necesita alta resistencia mecánica.

SAE 4340: es un acero al cromo níquel molibdeno de máxima tenacidad, resistencia a la tracción y torsión.

También se emplean aceros normalizados según DIN, por ej.:

DIN St 42 : acero comercial de resistencia mínima a la rotura en tracción que se emplea en árboles con poca carga.

DIN St 50 o 60: Para mayores solicitaciones.

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

Propiedades de materiales para árboles (kg/cm2)

Material	Carbono %	*Resistencia a la rotura por tracción*						*Alarga-miento*
		Tracción	Compresión	Torsión	Tracción	Compresión	Torsión	%
Acero laminado en frío	0,10 – 0,25	490	490	245	245	245	125	35
Acero torneado	0,10 – 0,25	420	420	210	210	210	105	35
Acero laminado en caliente o forjado	0,15 – 0,25 0,25 – 0,35 0,35 – 0,45 0,45 – 0,55	455 490 525 560	455 490 525 560	230 245 260 280	250 280 315 350	250 280 315 350	115 120 130 140	26 24 22 20
Acero con 3,5% de Níquel	0,15 – 0,25	600	600	300	385	385	150	26
Acero con Cromo y Vanadio	0,25 – 0,35	630	630	315	420	420	160	25

Ing. Carlos Barrera

CRITERIOS TÉCNICOS

1. Debe tratarse que los árboles sean de poca luz, para evitar solicitaciones de flexión elevadas. Con el mismo objeto, los cojinetes y rodamientos se dispondrán lo más cerca posible de las cargas más elevadas.
2. Se evitarán en la medida de las posibilidades, las concentraciones de tensiones, para ello se utilizarán radios de acuerdo en los cambios de sección, fundamentalmente donde los momentos flectores son grandes.
3. Los árboles huecos permiten mejorar el funcionamiento frente a vibraciones, el inconveniente es que tiene mayor costo la fabricación al ser de mayor diámetro.
4. Para evitar problemas de vibraciones, los árboles que giran a gran velocidad necesitan un buen equilibrado dinámico, buena fijación de los soportes y rigidez en su configuración.
5. Dado que la rigidez suele ser el factor crítico en el diseño de los árboles, se utilizarán aceros dado su elevado módulo elástico

Procedimiento a tener en cuenta

- Establecer la ubicación relativa de los distintos elementos
- 2. Definir el montaje a utilizar para el conjunto, considerando las piezas a colocar, la ubicación y tipo de apoyos no más de dos por tramo. Es recomendable tener en cuenta la forma de montaje, mantenimiento y desmontaje.
- 3. Establecer distancias tentativas entre elementos, utilizando un criterio racional
- 4. Hallar las reacciones en los apoyos
- 5. Realizar los diagramas de esfuerzos actuantes, en los planos correspondientes
- 6. Localizar las secciones más solicitadas
- 7. Adoptar el material, hacer un precalculo a esfuerzos combinados mediante la fórmula de ASME y un perfilado tentativo
- 8. Elegir y dimensionar los elementos de sujeción, chavetas, prisioneros, roscas, etc
- 9. Determinar los concentradores de tensiones existentes.

- 10. Verificar toda la pieza a esfuerzos combinados con cargas de fatiga por flexión alternativa según los métodos vistos
- 11. Adecuar la pieza a las medidas comerciales y efectuar el perfilado definitivo
- 12. Verificar que las deformaciones estén dentro de lo aconsejado de acuerdo al funcionamiento y a los elementos montados, de no ser así redimensionar

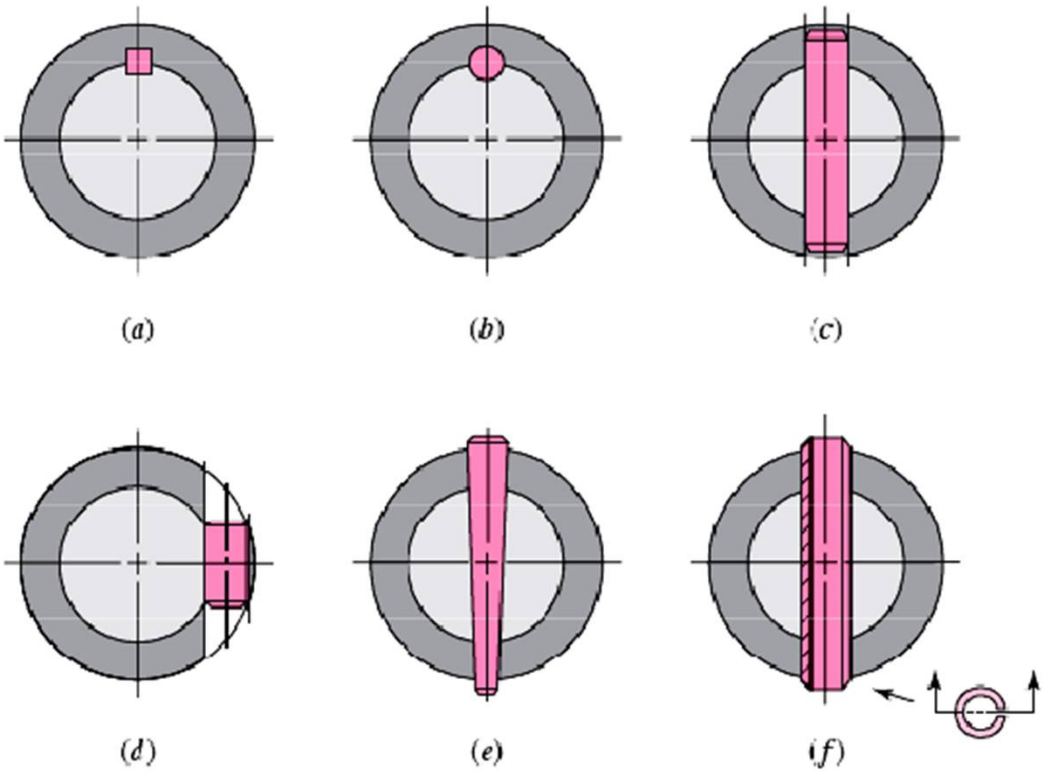
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

ELEMENTOS PARA TRANSMITIR PAR TORSOR Y POSICIONAMIENTO

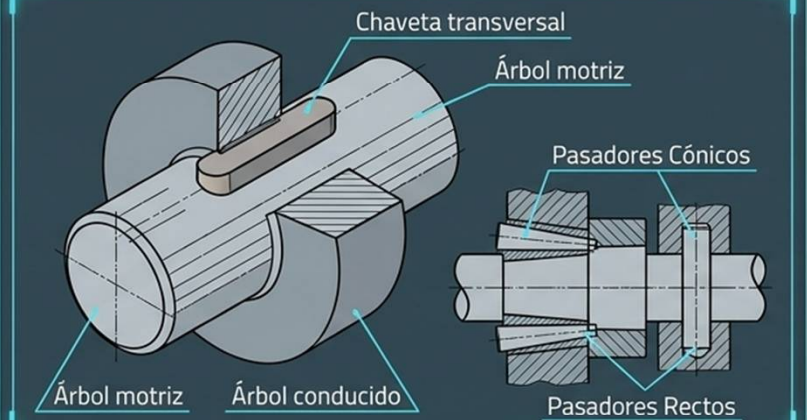
- PASADORES



17:47

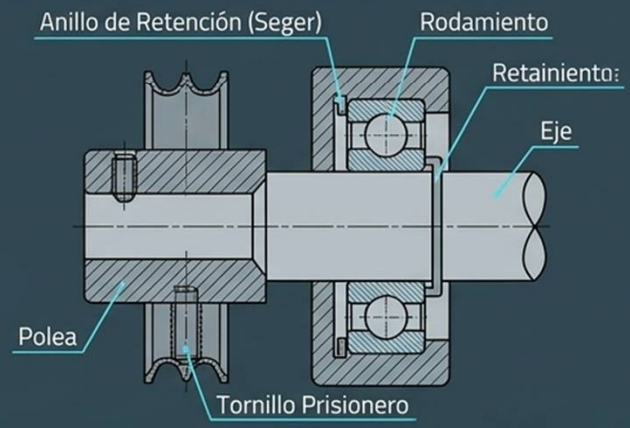
Elementos de Transmisión y Posicionamiento

Transmisión de Par Torsor (Fijación Radial)



- **Chavetas o Cuñas:** Principal método de transmisión.
- **Pasadores Cónicos:** Transmisión sin juego. Ideales para grandes inercias y choques intermitentes severos.
- **Apriete (Fricción):** Fijación en frío o caliente dependiendo del par a transmitir.

Posicionamiento Axial



- **Anillos de Retención (Seger):** Se alojan en ranuras del eje para contener rodamientos y poleas.
- **Bulones con Arandela y Tornillos Prisioneros:** Utilizados para el ajuste final y tope axial de cubos sobre el árbol.

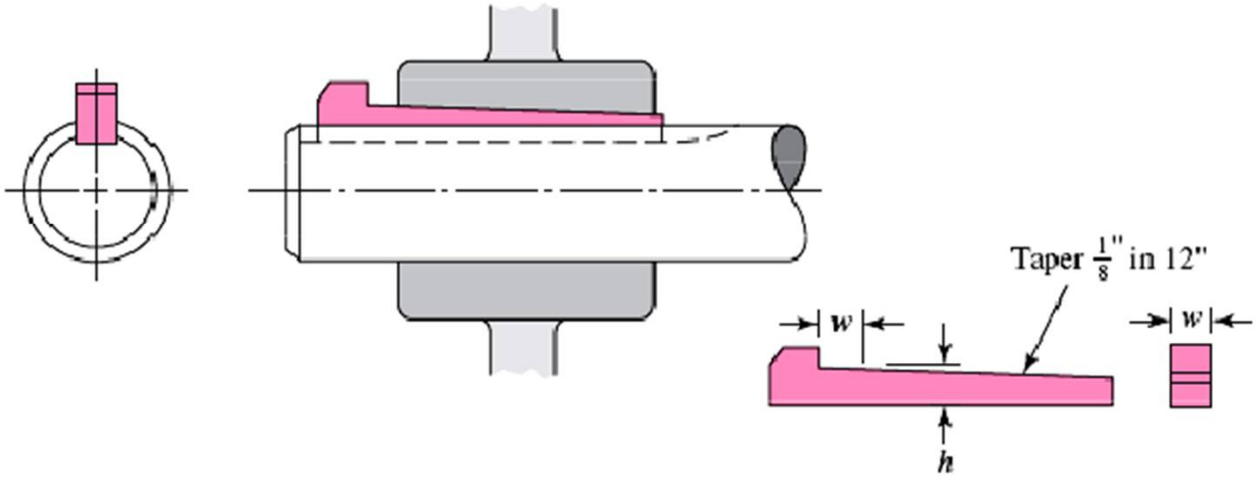
Gemini Notebook

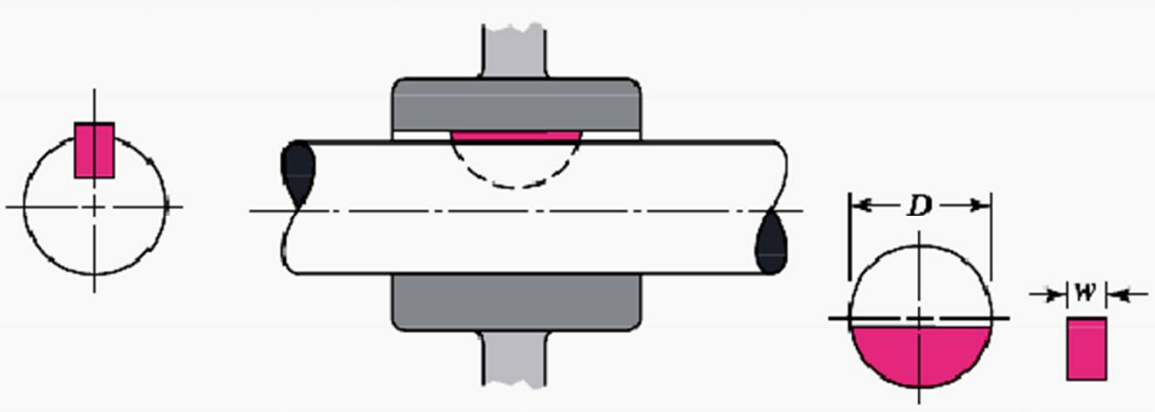
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

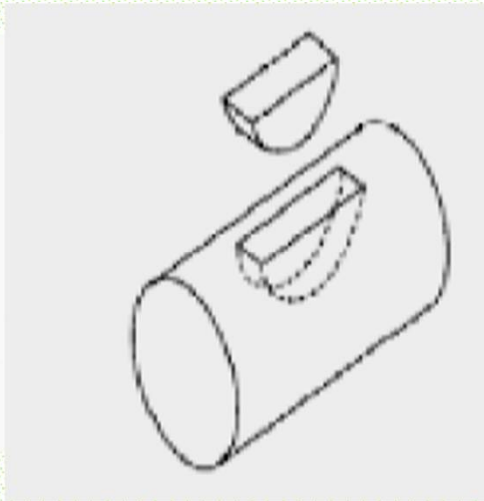
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

- CUÑAS





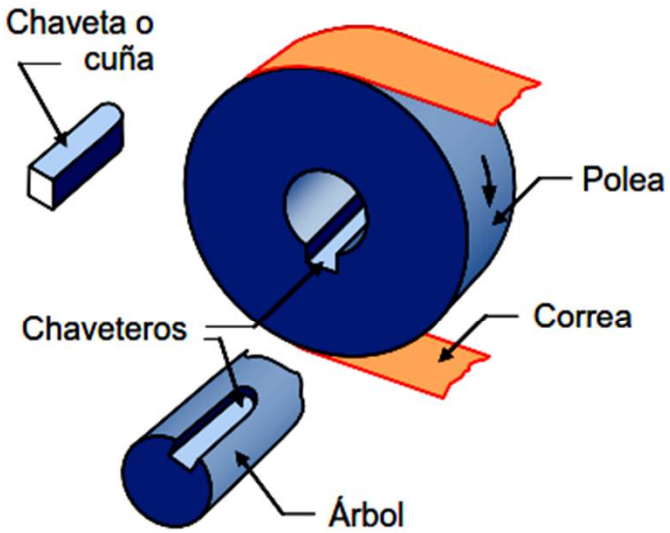


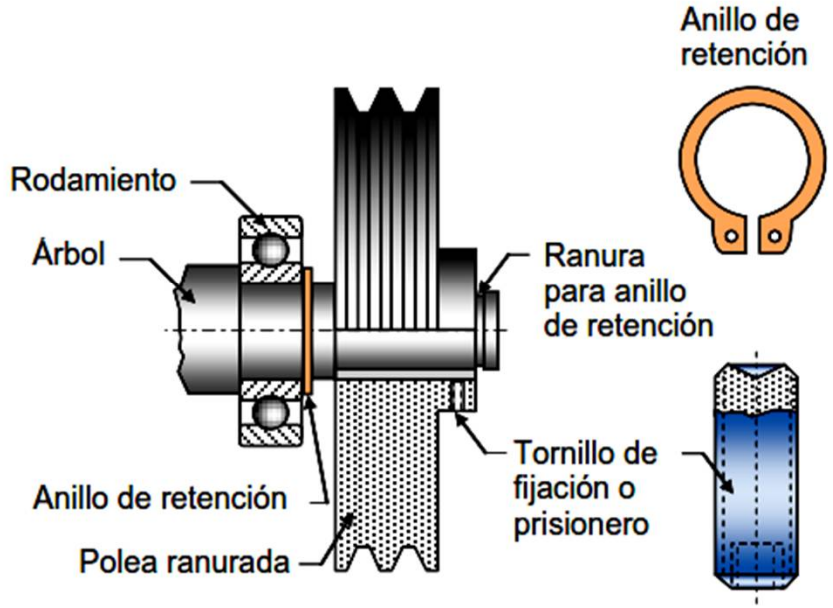
Ing. Carlos Barrera

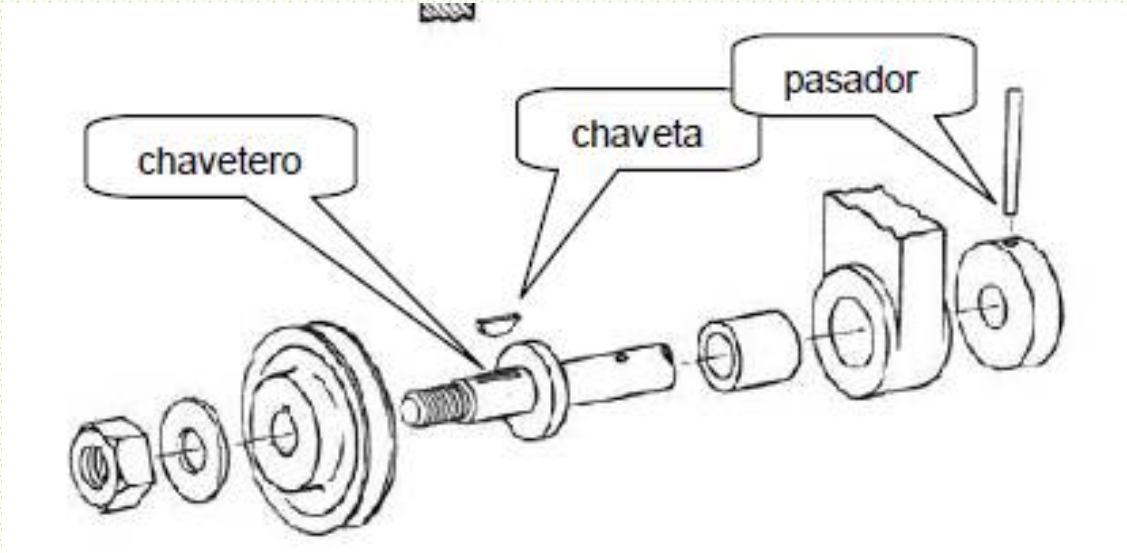
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

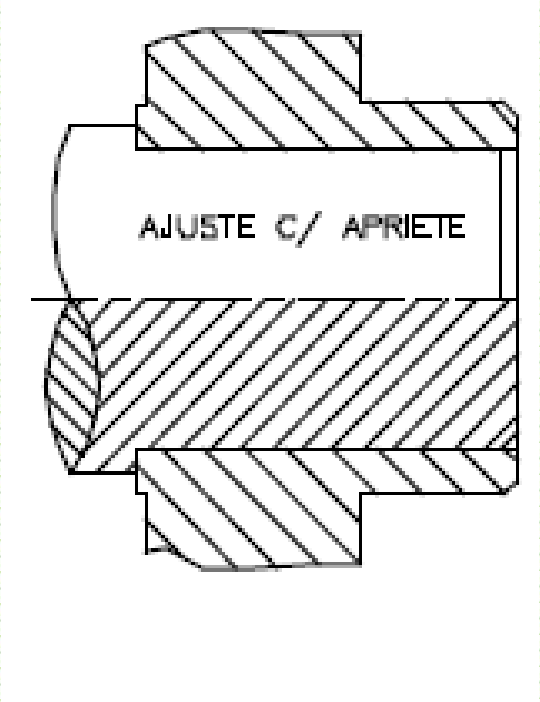
Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



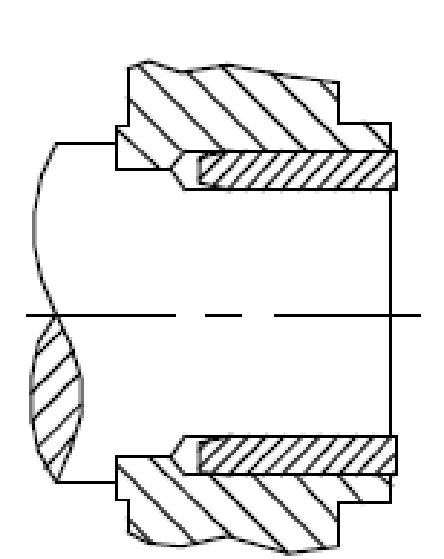




17:47



La fijación se consigue mediante el apriete (en frío o caliente) de la pieza sobre el árbol, dependiendo el mismo del par torsor a transmitir



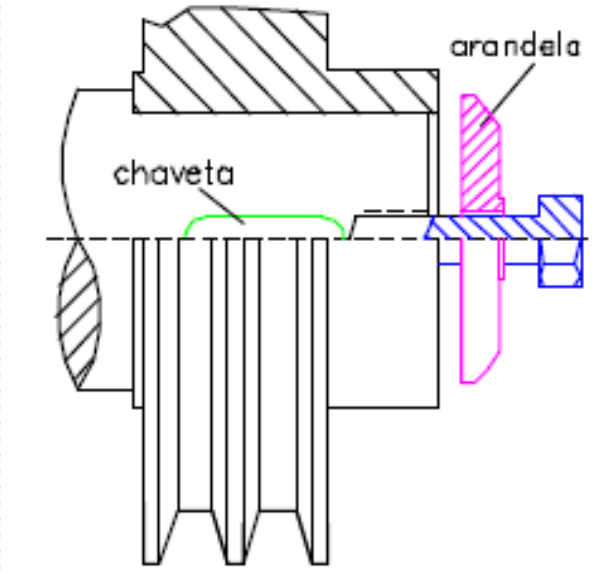
Además se pueden usar pasadores cónicos. Puede lograrse la transmisión sin juegos del momento torsor.

Se utiliza en piezas de gran inercia que actúan con choques intermitentes en condiciones severas de servicio.

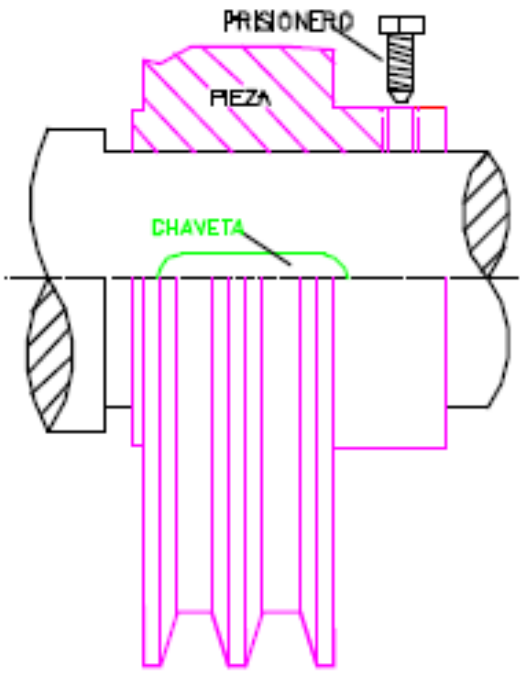
UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

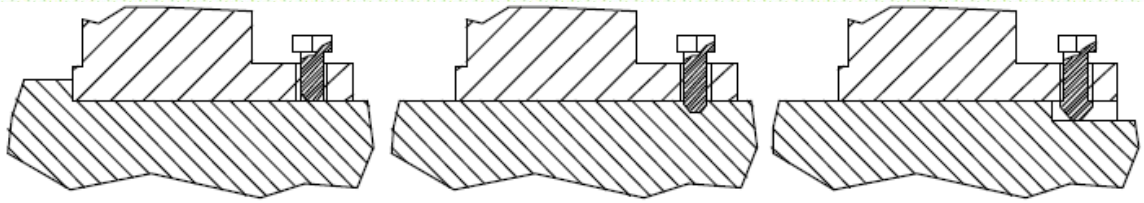
Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



La fijación axial se consigue con una arandela y un bulón, la radial mediante una chaveta.



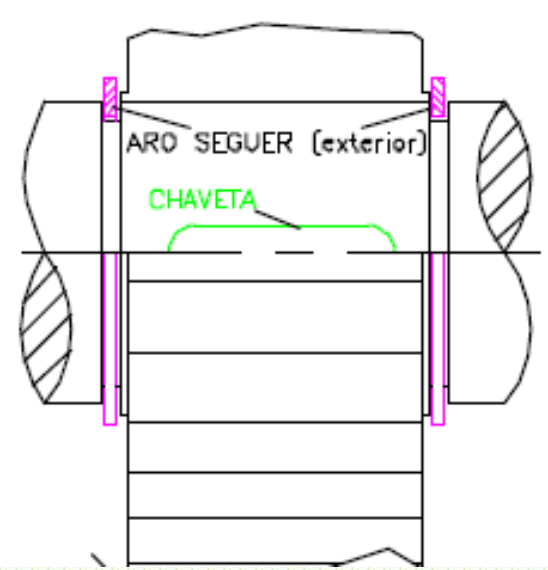
Se ajusta con un tornillo prisionero.



UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

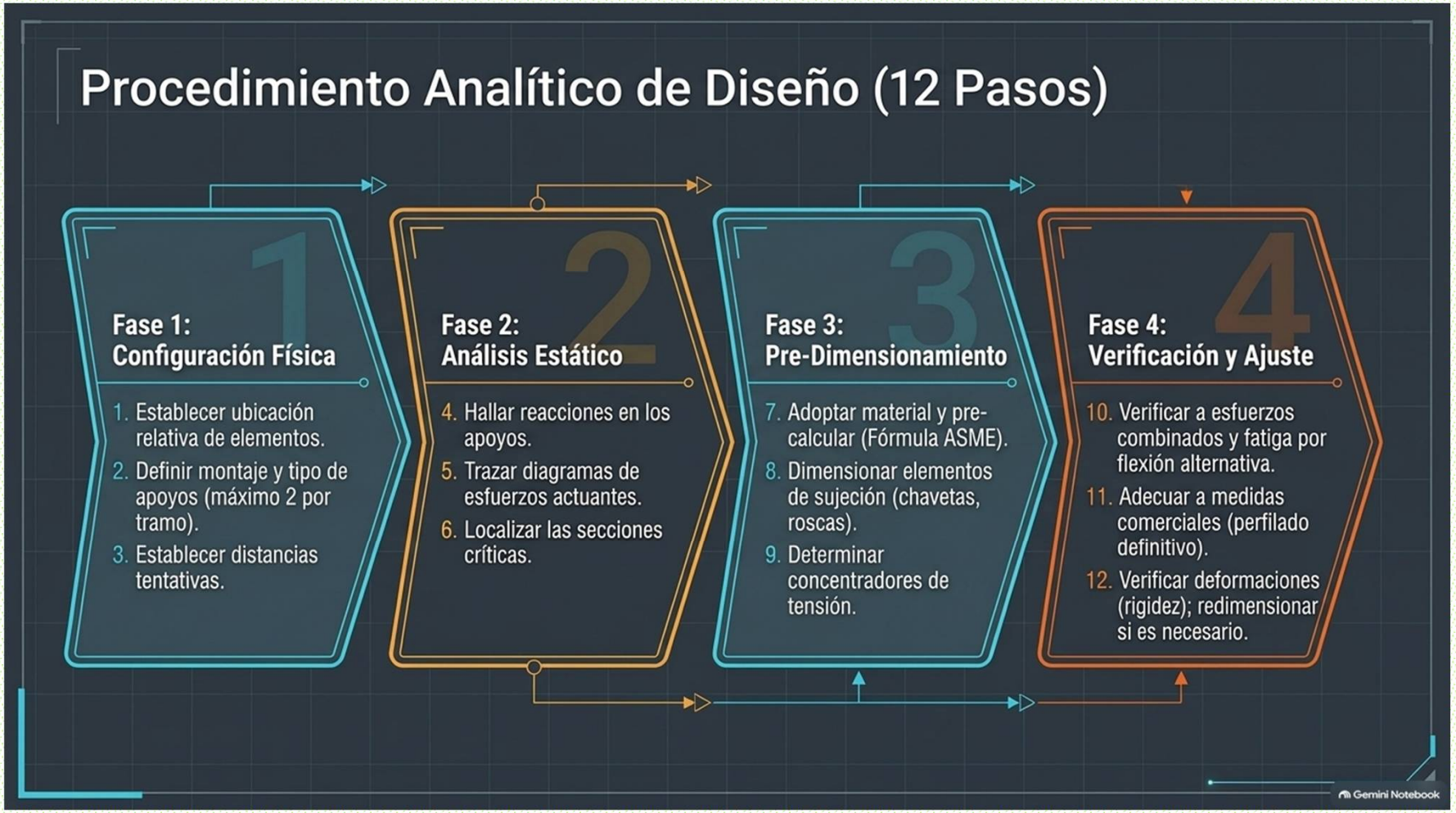
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



El posicionado axial se consigue con aros seguer y para transmitir la torsión con una chaveta.

17:47

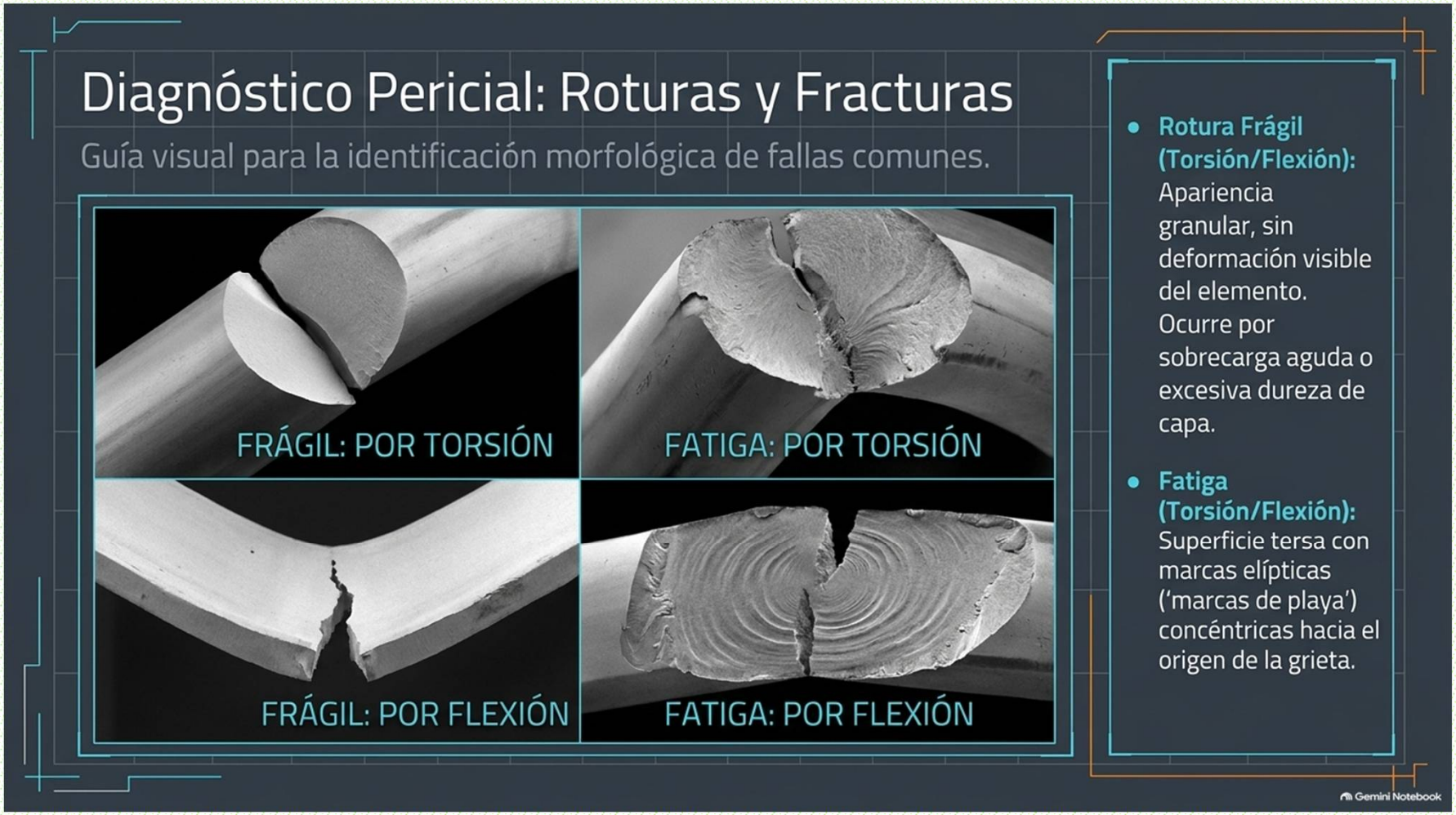

Procedimiento Analítico de Diseño (12 Pasos)
1
Fase 1:
Configuración Física
1. Establecer ubicación relativa de elementos.
2. Definir montaje y tipo de apoyos (máximo 2 por tramo).
3. Establecer distancias tentativas.
2
Fase 2:
Análisis Estático
4. Hallar reacciones en los apoyos.
5. Trazar diagramas de esfuerzos actuantes.
6. Localizar las secciones críticas.
3
Fase 3:
Pre-Dimensionamiento
7. Adoptar material y pre-calcular (Fórmula ASME).
8. Dimensionar elementos de sujeción (chavetas, roscas).
9. Determinar concentradores de tensión.
4
Fase 4:
Verificación y Ajuste
10. Verificar a esfuerzos combinados y fatiga por flexión alternativa.
11. Adecuar a medidas comerciales (perfilado definitivo).
12. Verificar deformaciones (rigidez); redimensionar si es necesario.
Gemini Notebook

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

FALLAS COMUNES EN ÁRBOLES



17:47

Ing. Carlos Barrera

DÚCTIL POR TORSIÓN



Fractura transversal al eje con apariencia fibrosa y con deformación de la pieza siguiendo el sentido de rotación.

ALGUNAS CAUSAS

- Sobrecarga por torque.
- Dureza del núcleo y/o su capa endurecida baja.
- Capa endurecida de espesor bajo.
- Trabamiento de la máquina.

FATIGA POR TORSIÓN EN EJE ESTRIADO



Se forman múltiples grietas de fatiga por torsión a 45° alrededor del eje, que emanan a partir de la base de las estrías, las cuales al crecer se encuentran y generan una superficie de fractura irregular.

ALGUNAS CAUSAS

- Similares a la fatiga por torsión.
- Estrías con esquinas muy agudas en sus bases.

PANDEO DE LÁMINA POR FLEXIÓN



Se da en ejes huecos de pared delgada donde por flexión se dobla la pared.

ALGUNAS CAUSAS

- Similar a flujo plastico por flexion.
- Bajo espesor de pared del eje.

DEFORMACIÓN PLÁSTICA

FLUJO PLÁSTICO POR FLEXIÓN



El eje muestra deformación permanente por doblado.

ALGUNAS CAUSAS

- Sobrecarga por flexión.
- Dureza de núcleo y/o su capa endurecida baja.
- Capa endurecida de bajo espesor.
- Trabamiento de la máquina.

FLUJO PLÁSTICO POR TORSIÓN



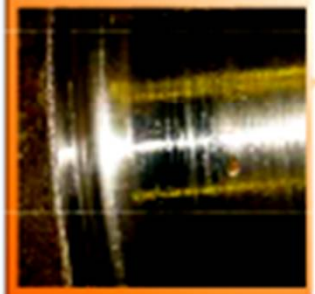
El eje muestra deformación permanente por torsión.

ALGUNAS CAUSAS

- Sobrecarga por torsión.
- Dureza de núcleo y/o su capa endurecida baja.
- Capa endurecida de bajo espesor.
- Trabamiento de la máquina.

DESGASTE

ABRASIVO



Cuando la superficie del eje en contacto con un cojinete o seguidor se mecaniza o pule. Se conoce como rayado.

ALGUNAS CAUSAS

-Lubricante con particulas.
-Viscosidad baja o altas cargas. Baja velocidad.
-Dureza baja en capa endurecida.
-Buje con dureza muy alta para el eje.

LUDIMIENTO



Consiste en la acumulación de depósitos en la superficie de apoyo para cubos de engranajes, poleas, rodamientos, cuñas, etc., producto de desgaste y/o oxidación asociados a desplazamientos oscilantes pequeños de estos elementos sobre el eje

ALGUNAS CAUSAS

-Alto estado vibratorio en la maquina.
-Juego excesivo entre los elementos.
-Mal montaje.

ADHESIVO



Cuando entre el eje y su cojinete o seguidor se transfiere metal, debido a que entran en contacto directo porque se rompe la capa de lubricante.

ALGUNAS CAUSAS

-Dureza baja en capa endurecida.
-Alta velocidad.
-Viscosidad baja o altas cargas.
-Elevada temperatura.
-Falla en el sistema de lubricación.

FATIGA SUPERFICIAL O PICADO



Agrietamiento superficial y posterior pérdida de material, formando pequeñas cavidades en la zona de contacto con el cojinete o seguidor.

ALGUNAS CAUSAS

-Baja dureza en capa endurecida.
-Viscosidad baja del lubricante.
-Cargas de operación altas.
-Alta velocidad.

CORROSIÓN

GENERALIZADA



Se presenta ataque corrosivo sobre la superficie del eje, dañando su acabado superficial y dejando residuos.

ALGUNAS CAUSAS

-Mala selección del material del eje.
-Medio corrosivo severo.
-Daño en recubrimientos protectores.
-Infiltración de fluidos a la máquina, daño en sellos o lubricante degradado.

CORROSIÓN - ESFUERZO

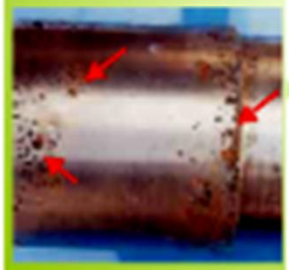


Se tiene la formación de agrietamiento masivo y ramificado sobre el eje, especialmente en cambios de sección.

ALGUNAS CAUSAS

-Mala selección del material del eje.
-Medio severo y/o cargas altas.
-Daño en recubrimientos protectores.
-Infiltración de fluidos a la máquina, daño en sellos o lubricante degradado.
-Cambios de geometría severos.

POR PICADURA

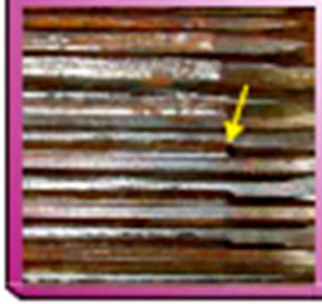


Se presenta ataque corrosivo localizado en puntos de la superficie del eje, generando cavidades y dejando residuos.

ALGUNAS CAUSAS

-Mala selección del material del eje.
-Medio corrosivo severo.
-Daño en recubrimientos protectores.
-Infiltración de fluidos a la máquina, daño en sellos o lubricante degradado.

DAÑO EN ESTRÍAS O CUÑEROS

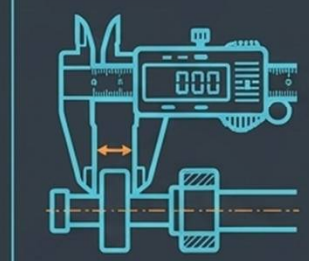


Las estrías o cuñeros de los ejes muestran aplastamiento o desgarre.

ALGUNAS CAUSAS

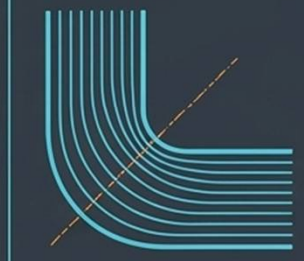
-Alto torque.
-Dureza de núcleo o capa endurecida baja o ausencia de la capa.
-Trabamiento de la máquina.

Reglas de Oro en el Diseño (Criterios Técnicos)



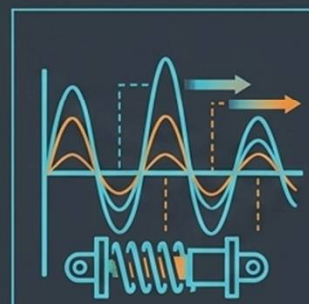
Mínima Luz (Distancia)

Mantener árboles con poca distancia entre apoyos. Cojinetes y rodamientos deben ubicarse lo más cerca posible de las cargas mayores para evitar solicitaciones de flexión elevadas.



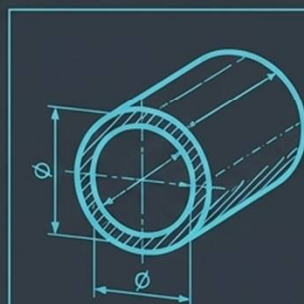
Geometría Suave

Evitar concentraciones de tensión utilizando radios de acuerdo amplios en los cambios de sección, especialmente donde los momentos flectores son máximos.



Gestión Dinámica (Vibración)

En altas velocidades, es imperativo un equilibrado dinámico estricto, excelente fijación de soportes y alta rigidez estructural.



Gestión de Masas (Árboles Huecos)

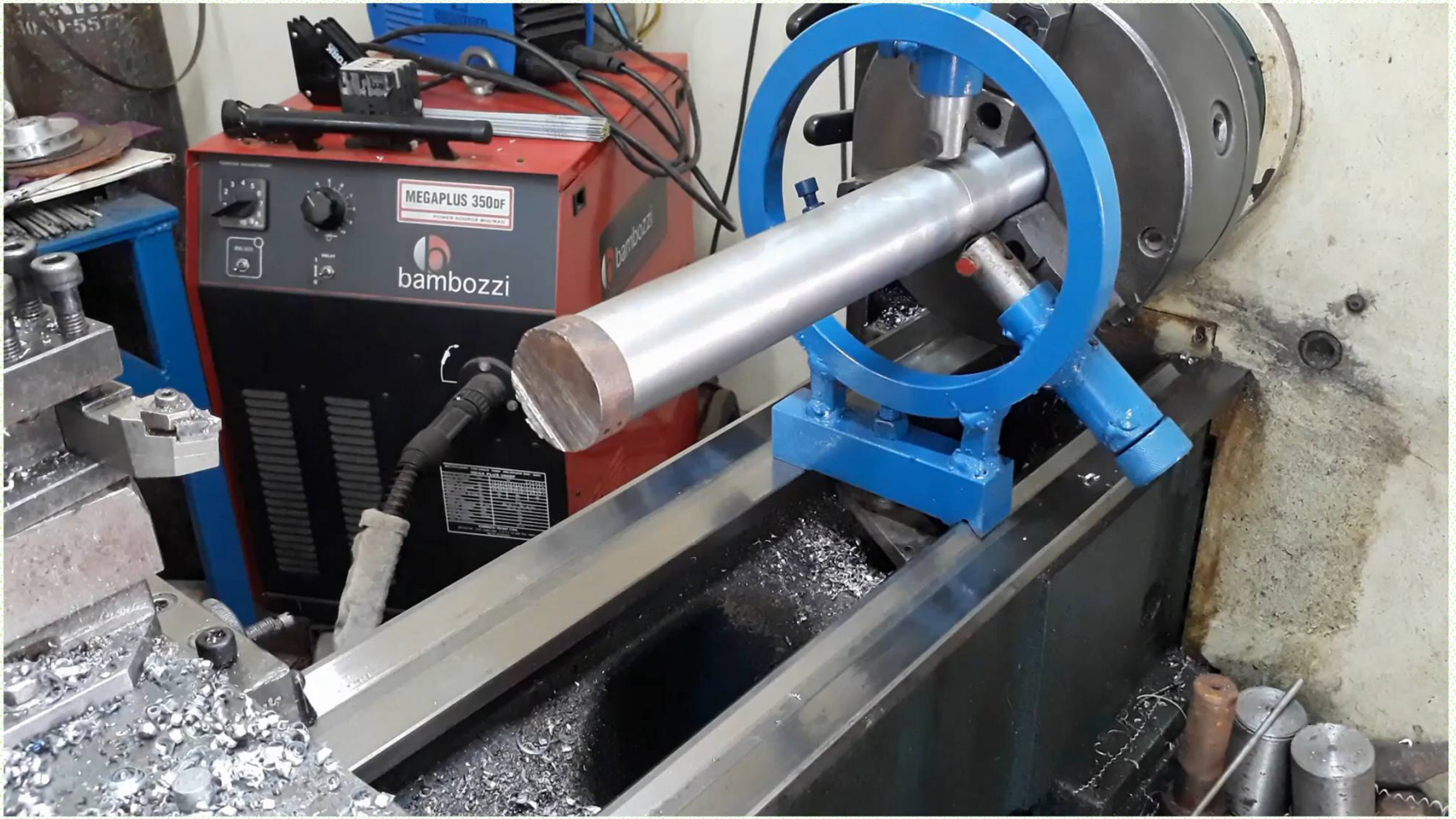
El uso de árboles huecos mejora significativamente el comportamiento frente a vibraciones, aunque incrementan el costo de fabricación por requerir mayor diámetro para igual resistencia.

Gemini Notebook

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS



17:47

Ing. Carlos Barrera

Torneando y roscado de los ejes de ruedas - Fácil MS 1/3 Avión Experimental Argentino

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cátedra:
ELEMENTOS DE MAQUINAS

BIBLIOGRAFÍA

Diseño en Ingeniería Mecánica	Shigley
Diseño en Elementos de Máquinas	Mott