

# **MECANISMOS Y ELEMENTOS DE MÁQUINAS**

Ingeniería . Electromecánica

Año lectivo 2026

Plan 2013

Ruedas Dentadas

# Ruedas Dentadas

## Definiciones

### Ruedas dentadas

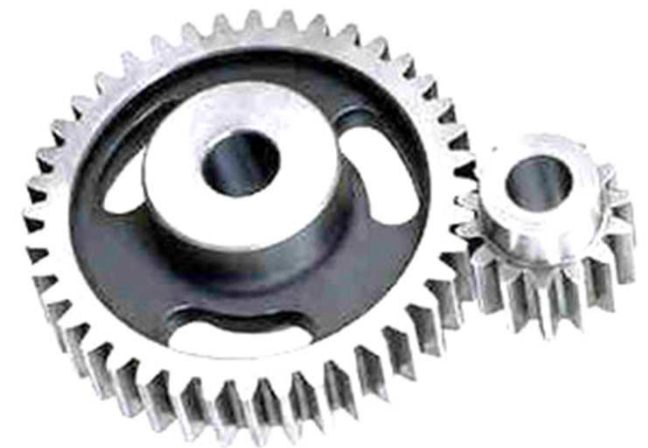
Los engranajes, también llamados ruedas dentadas, son elementos de máquinas que forman parte de sistemas reversibles capaz de transmitir potencia en ambos sentidos. La transferencia se realiza por contacto directo.

Permiten la reducción o el aumento del momento torsor con mínimas pérdidas de energía (rendimiento de la transmisión), así como el incremento o la disminución de velocidades, sin deslizamiento logrando una ***relación de transmisión constante***.

En estos sistemas se le suele denominar:

Rueda al engrane de mayor tamaño.

Piñón al engrane más pequeño.

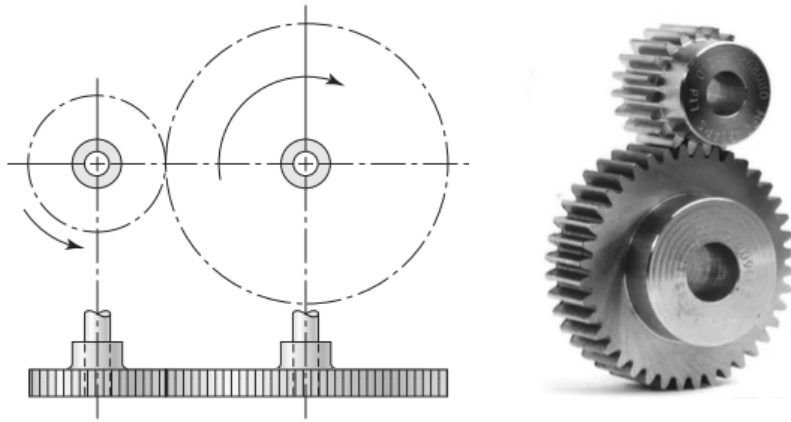


# Ruedas Dentadas

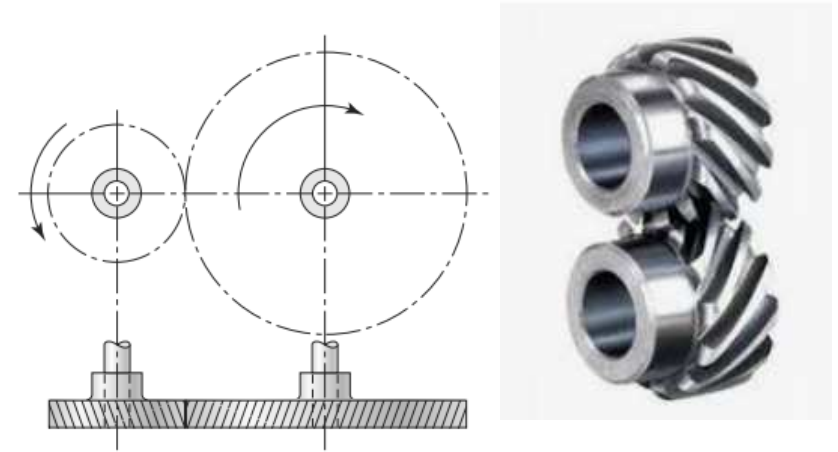
## Clasificación

En función de la forma de sus dientes y de la disposición de sus ejes de rotación , se distinguen:

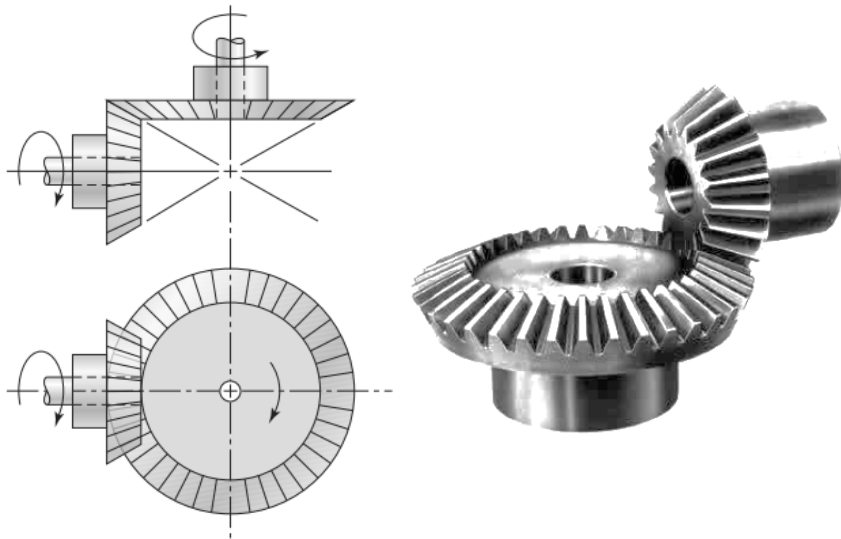
### Ruedas Dentadas Dientes Rectos



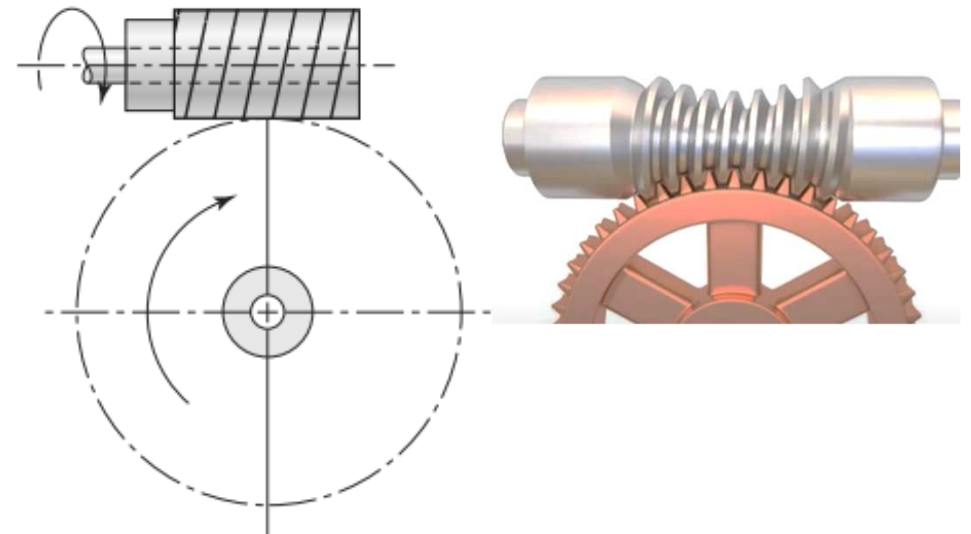
### Ruedas Dentadas Dientes Helicoidales



### Ruedas Dentadas Cónicas Dientes Rectos



### Tornillos Sin Fin – Rueda Helicoidal



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

Los engranajes rectos son un tipo de engranaje cilíndrico con dientes paralelos al eje de rotación. Son los más simples y comunes en sistemas mecánicos, usados para transmitir movimiento y potencia entre ejes paralelos.

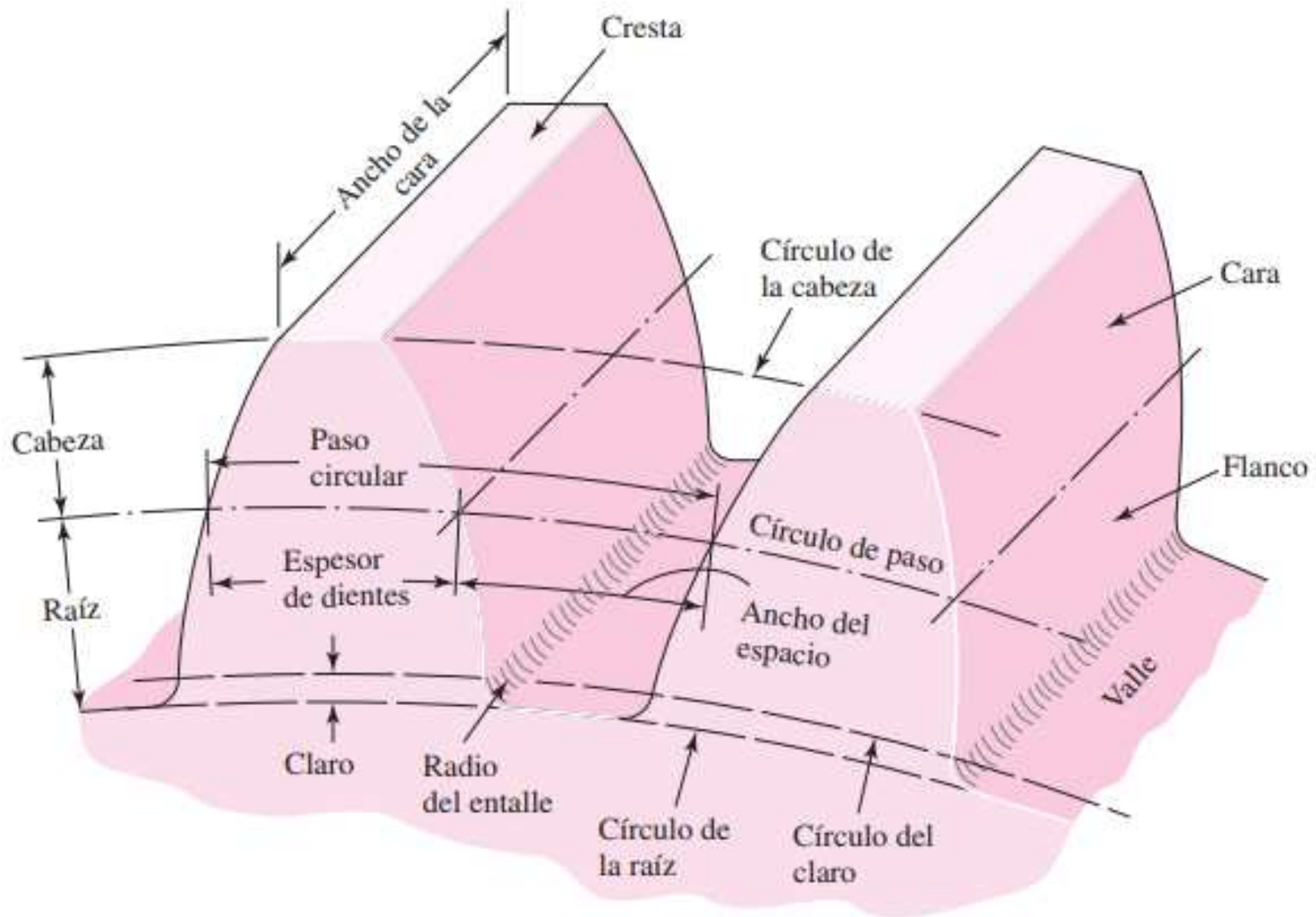
## Características Principales

- Dientes rectos y paralelos al eje del engranaje.
- Transmisión eficiente de potencia con mínimas pérdidas.
- Operación ruidosa a altas velocidades debido a impactos entre dientes.
- Usados en aplicaciones de baja y media velocidad donde no se requiere una transmisión suave



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Nomenclatura



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Nomenclatura

$$P = \frac{N}{d}$$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m$$

$$pP = \pi$$

P = paso diametral, dientes por pulgada

N = número de dientes

d = diámetro de paso, pulg o mm

m = módulo, mm

p = paso circular, pulg o mm

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Nomenclatura

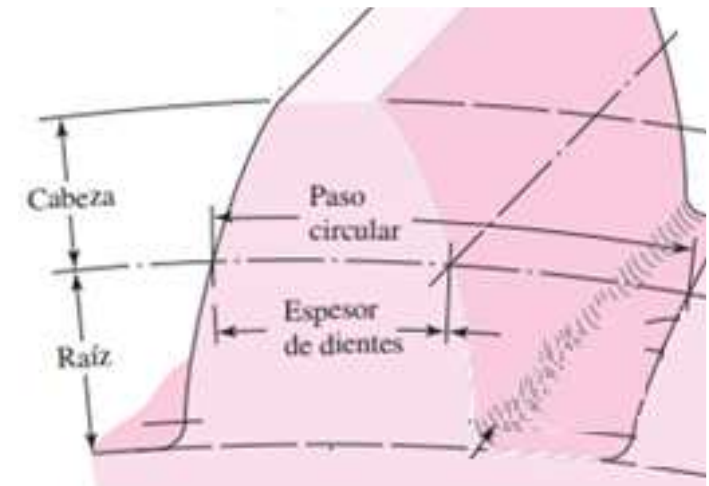
Un **sistema de dientes** es una norma que especifica las relaciones que implican la cabeza (addendum), la raíz (dedendum), la profundidad de trabajo, el espesor del diente y el ángulo de presión. Al principio, las normas se planearon para posibilitar el intercambio de engranes con cualquier número de dientes, pero con el mismo ángulo de presión y paso

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Nomenclatura

Sistema de dientes	Ángulo de presión $\phi$ , grados	Cabeza (addendum) $a$	Raíz (dedendum) $b$
Profundidad total	20	$1/P_d$ o bien $1m$	$1.25/P$ o bien $1.25m$
			$1.35/P$ o bien $1.35m$
	$22\frac{1}{2}$	$1/P_d$ o bien $1m$	$1.25/P$ o bien $1.25m$
			$1.35/P$ o bien $1.35m$
	25	$1/P_d$ o bien $1m$	$1.25/P$ o bien $1.25m$
			$1.35/P$ o bien $1.35m$
Dientes recortados	20	$0.8/P_d$ o bien $0.8m$	$1/P$ o bien $1m$

$P$  = paso diametral, dientes por pulgada  
 $m$  = módulo, mm



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Nomenclatura

Tamaños de dientes de uso general

### Paso diametral

Basto	2, $2\frac{1}{4}$ , $2\frac{1}{2}$ , 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16
Fino	20, 24, 32, 40, 48, 64, 80, 96, 120, 150, 200

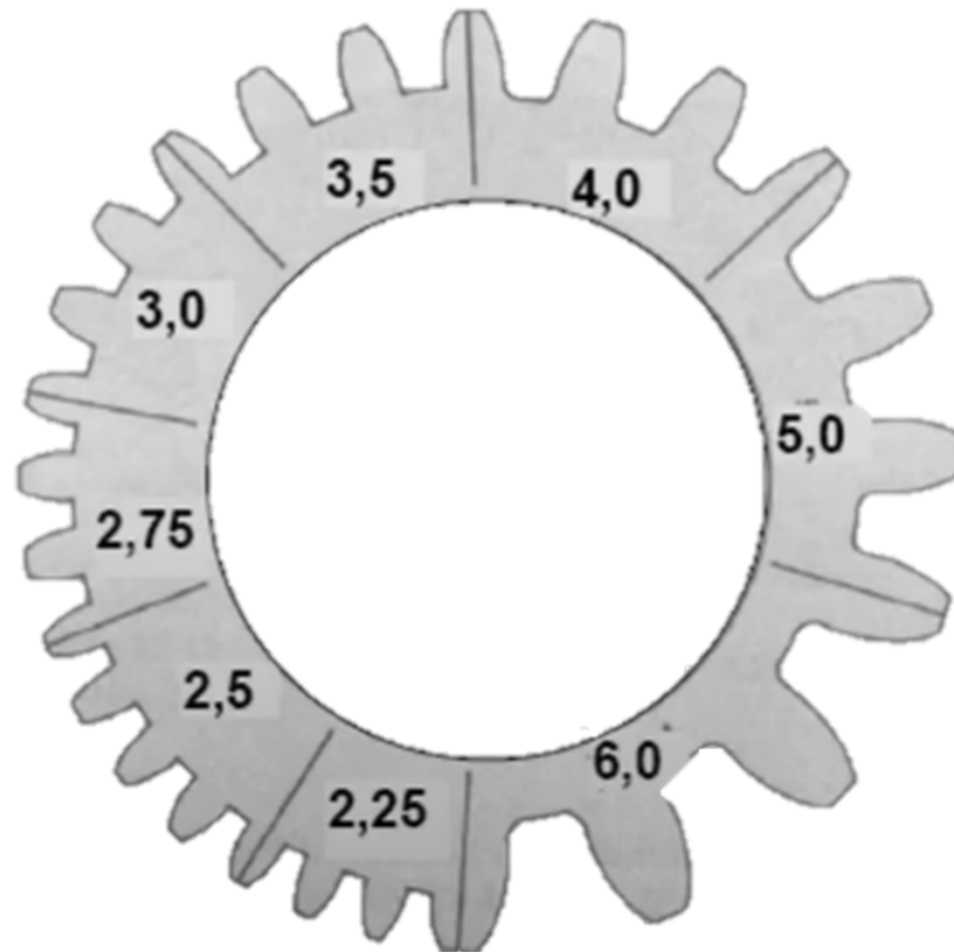
### Módulos

Preferidos	1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
Siguiente elección	1.125, 1.375, 1.75, 2.25, 2.75, 3.5, 4.5, 5.5, 7, 9, 11, 14, 18, 22, 28, 36, 45

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

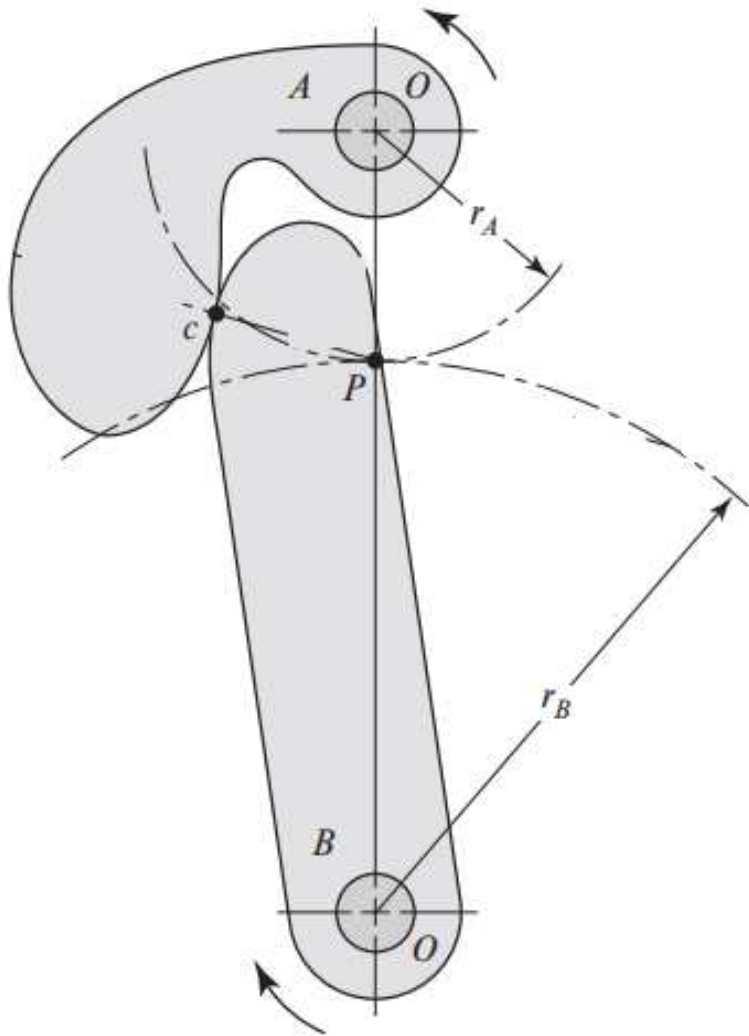
## Nomenclatura

Relación entre el valor del modulo (mm) y el tamaño de diente



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

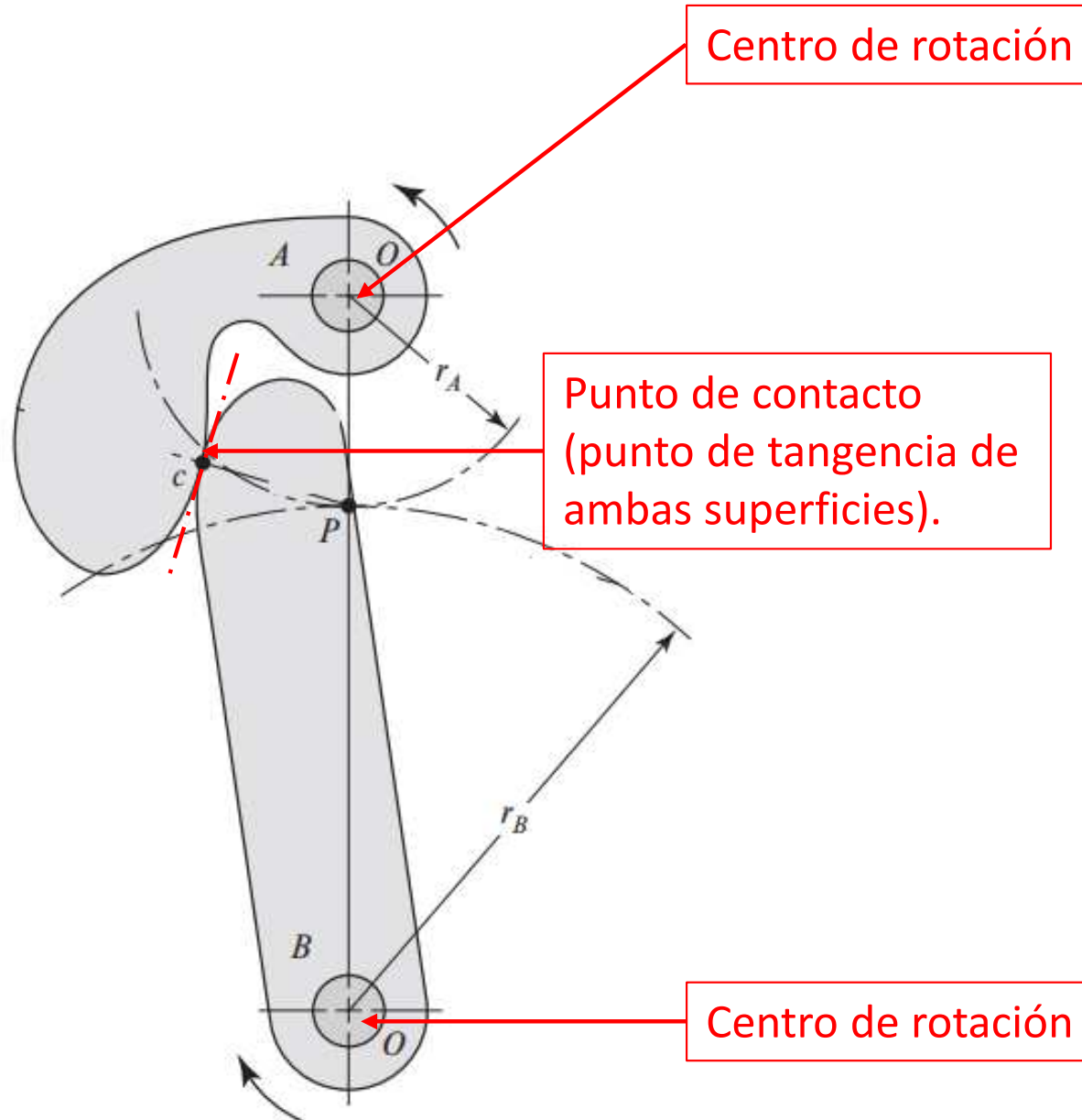
## Acción Conjugada



Se da cuando dos perfiles de dientes o levas se diseñan para producir una relación constante de velocidades angulares durante el acoplamiento.

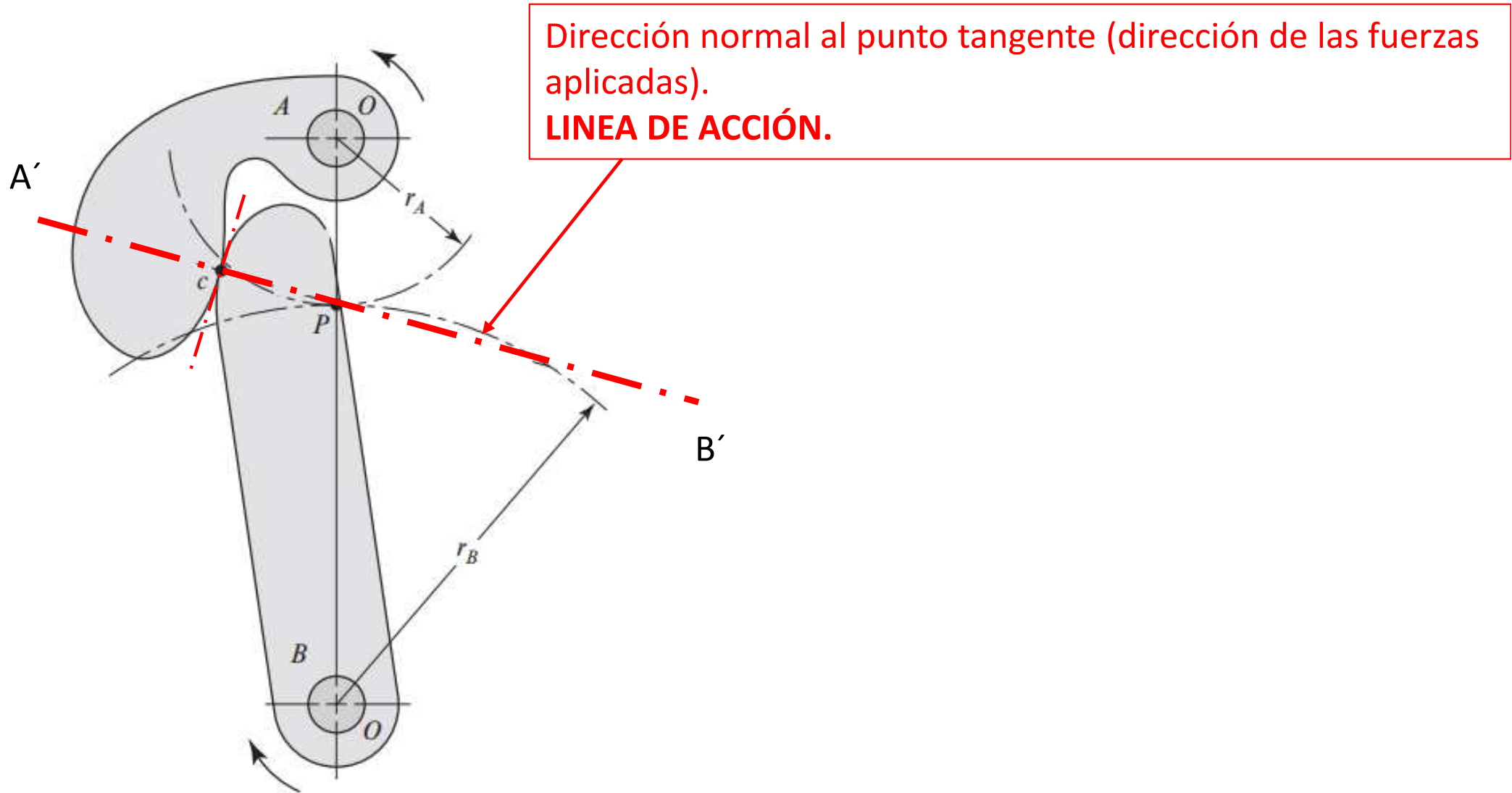
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada



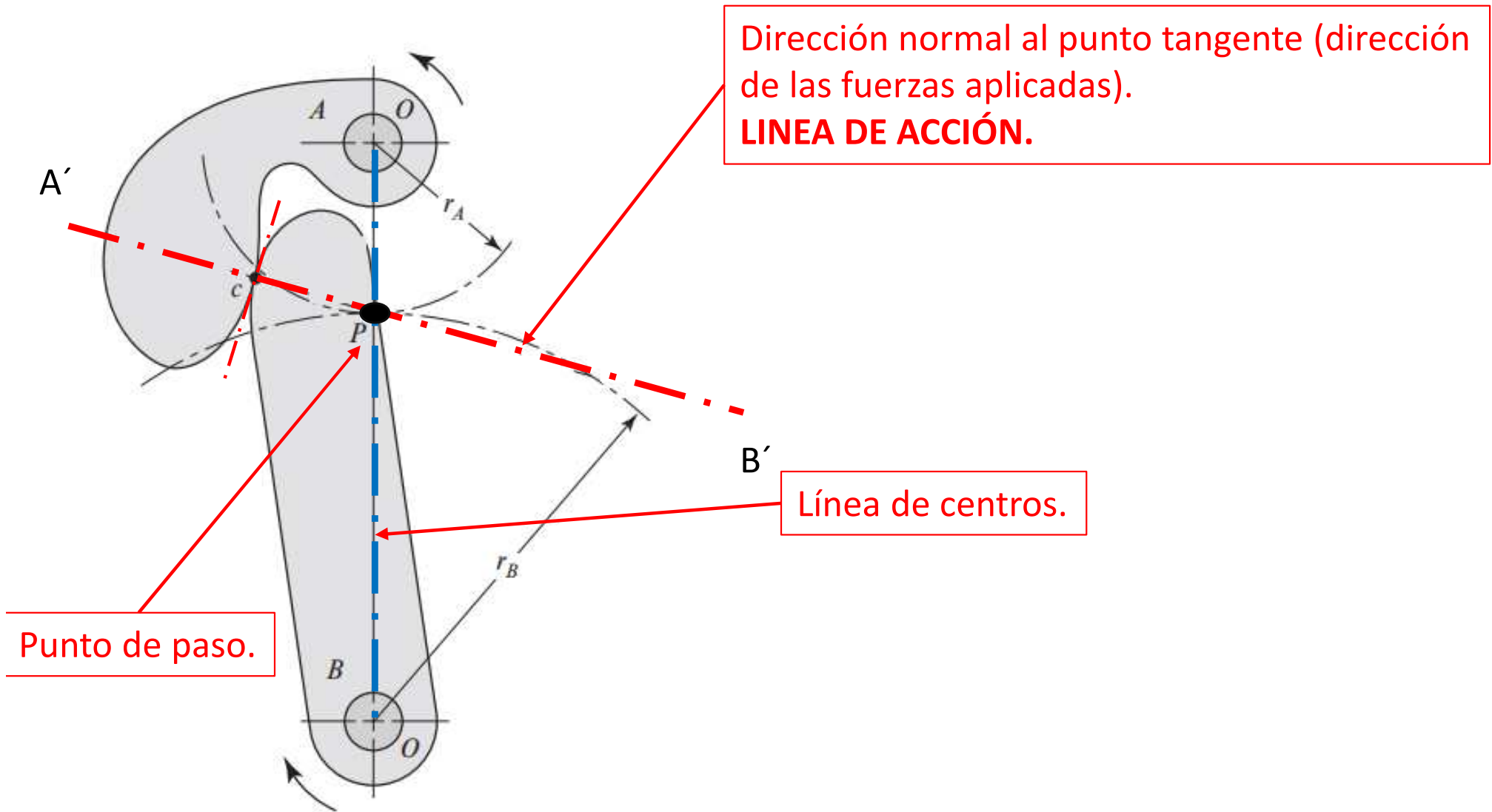
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada



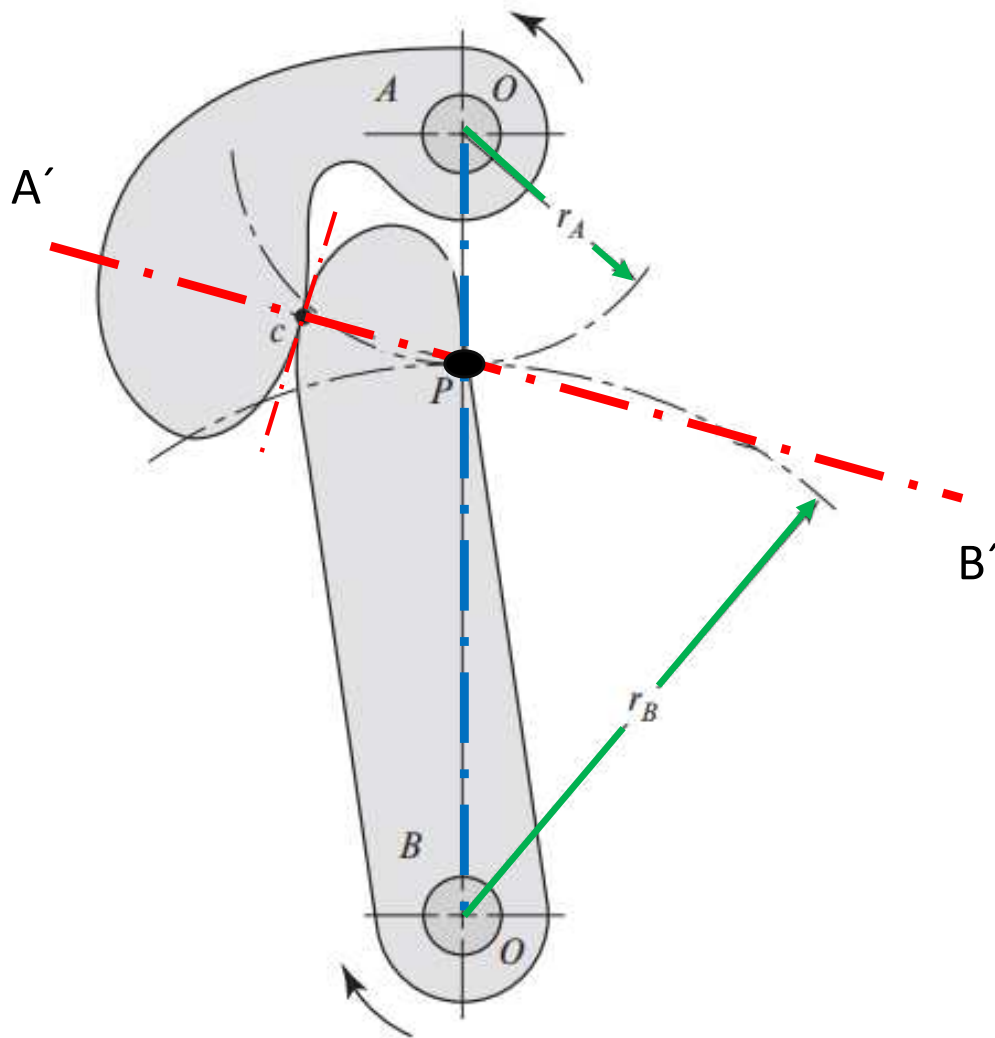
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada

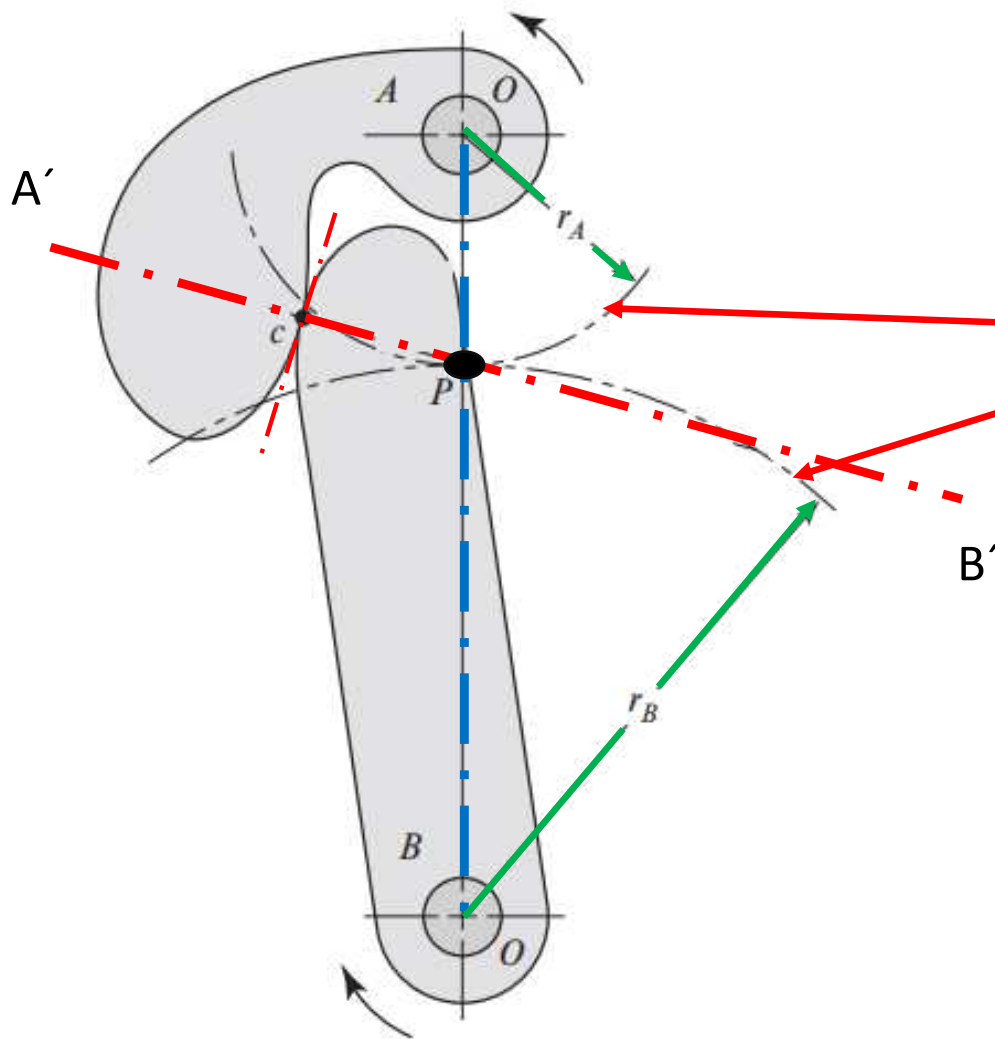


La relación de la velocidad angular entre los dos brazos es inversamente proporcional a sus radios respecto del punto P.

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A}$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

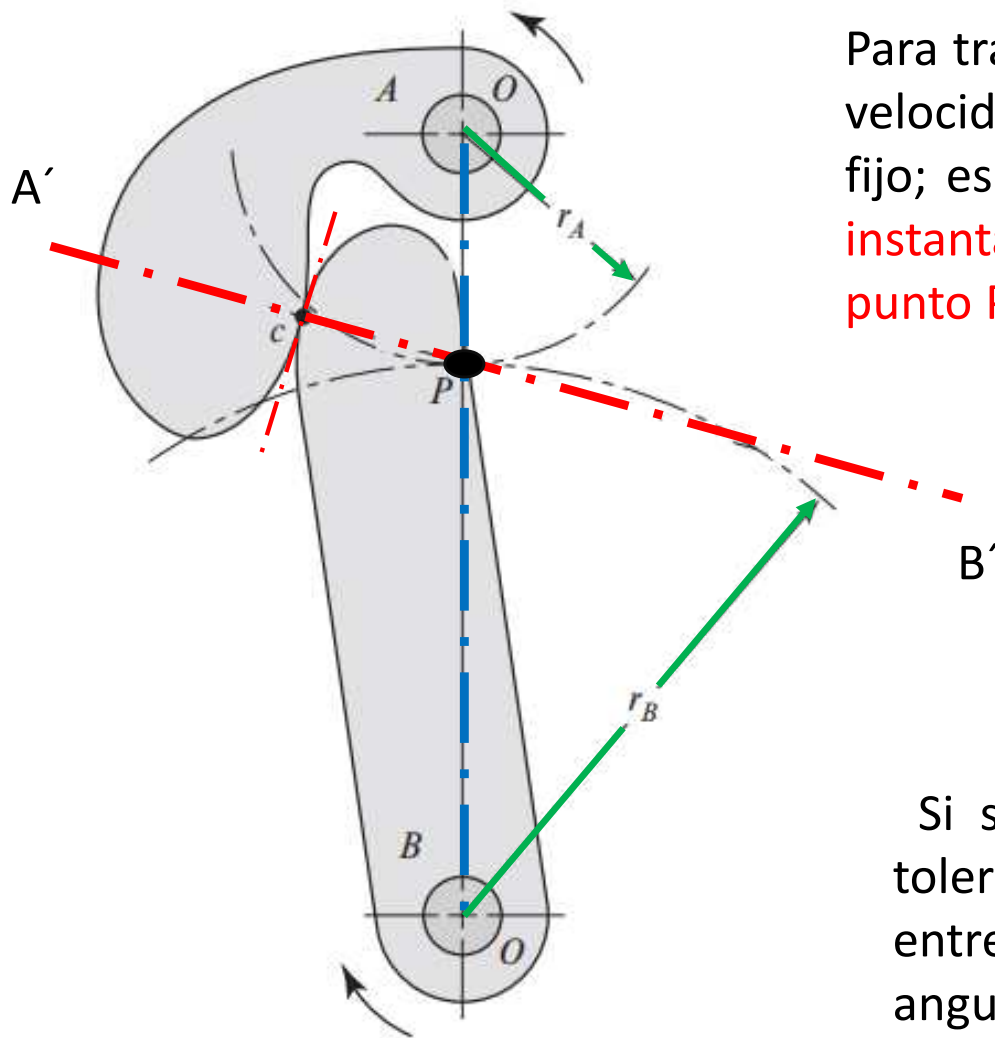
## Acción Conjugada



Los círculos que se trazan a través del punto P, desde cada centro, se llaman **círculos de paso**; el radio de cada círculo se llama radio de paso. **El punto P se conoce como punto de paso.**

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada



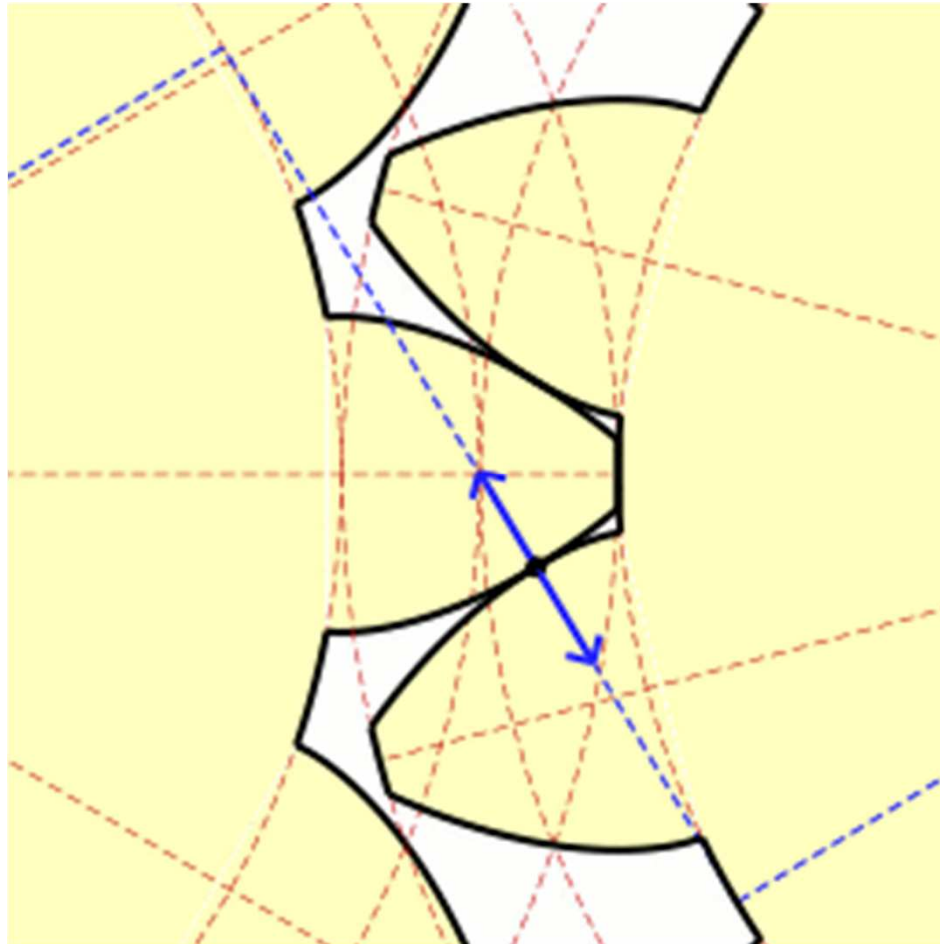
Para transmitir movimiento a una relación constante de velocidad angular, el punto de paso debe permanecer fijo; es decir, **todas las líneas de acción de cada punto instantáneo de contacto deben pasar por el mismo punto P.**

Si se emplean **curvas involutas** los engranes son tolerantes a los cambios en la distancia entre centros sin mostrar variación en la velocidad angular

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada

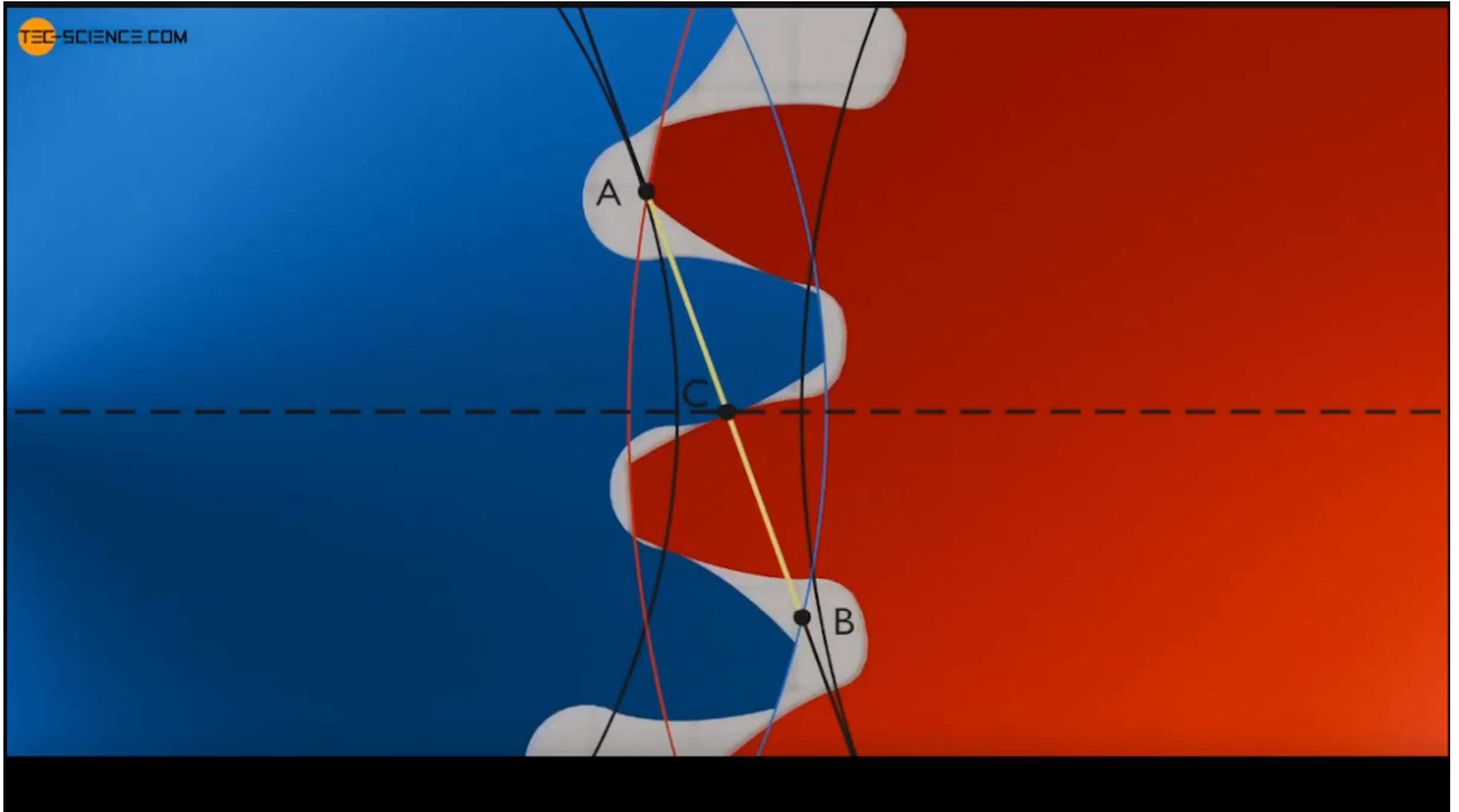
En el caso del **perfil involuta** todos los puntos de contacto ocurren sobre la **misma línea acción**, todas las normales a los perfiles de dientes en el punto de contacto **coinciden con la línea acción**, y, de esta manera, que dichos perfiles **transmiten movimiento rotatorio uniforme**.



$$\frac{\omega_c}{\omega_m} = \frac{r_m}{r_c}$$

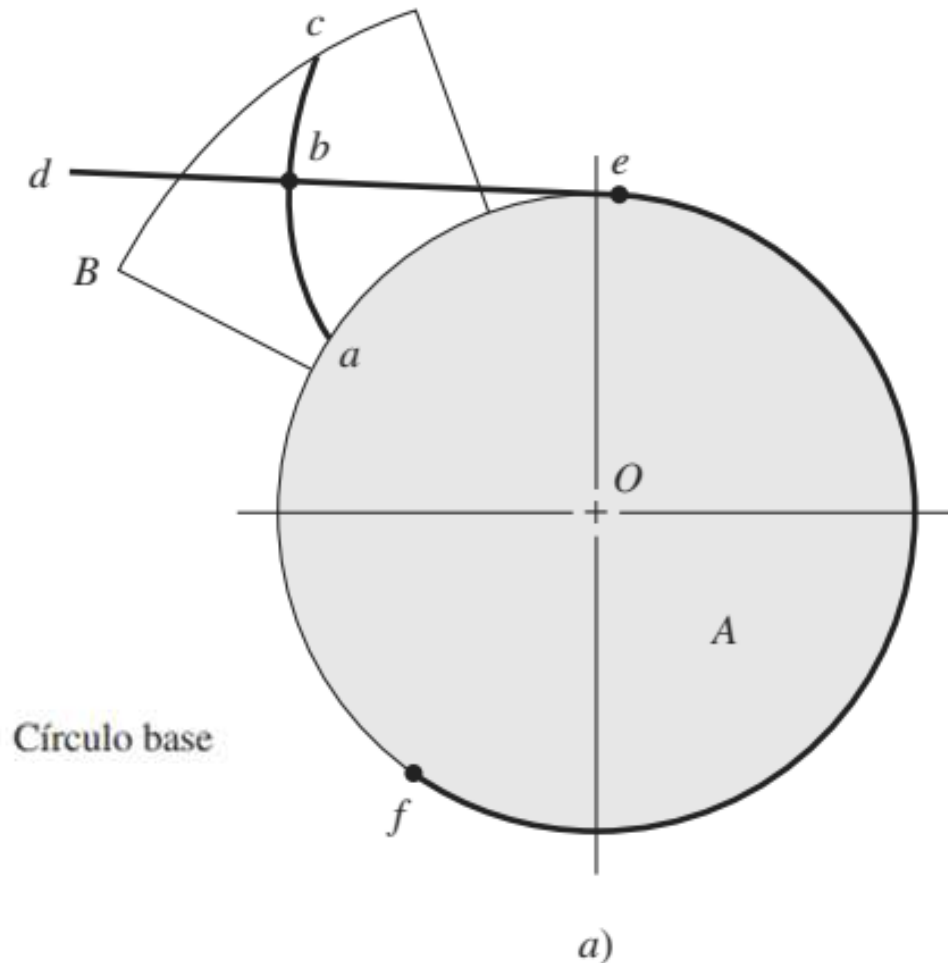
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Acción Conjugada



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

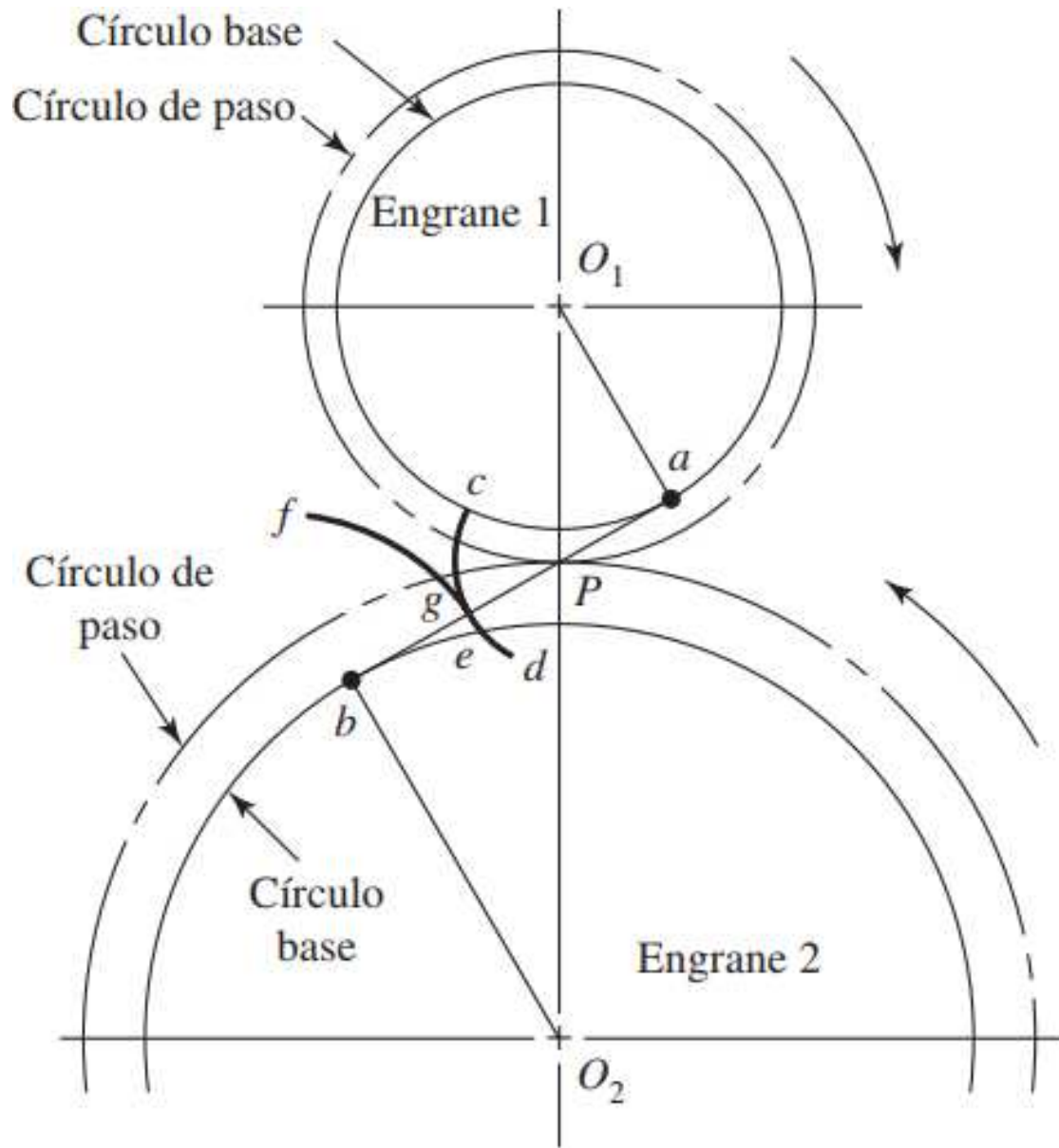
## Perfil involuta o evolvente



- El radio de la curvatura de la involuta varía en forma continua, de cero en el punto **a** hasta un máximo en el punto **c**.
- La recta generatriz **d-e** es normal a la involuta en todos los puntos.
- La recta generatriz **d-e** siempre es tangente al cilindro A llamado **círculo de base**.

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Perfil involuta o evolvente



- El punto de contacto se mueve a lo largo de la recta generatriz.
- La recta generatriz a-b siempre está tangente a los círculos base.
- Debido a que la recta generatriz siempre es normal a las involutas en el punto de contacto, se **satisface el requisito de movimiento uniforme.**

$$\frac{\omega_c}{\omega_m} = \frac{r_m}{r_c}$$

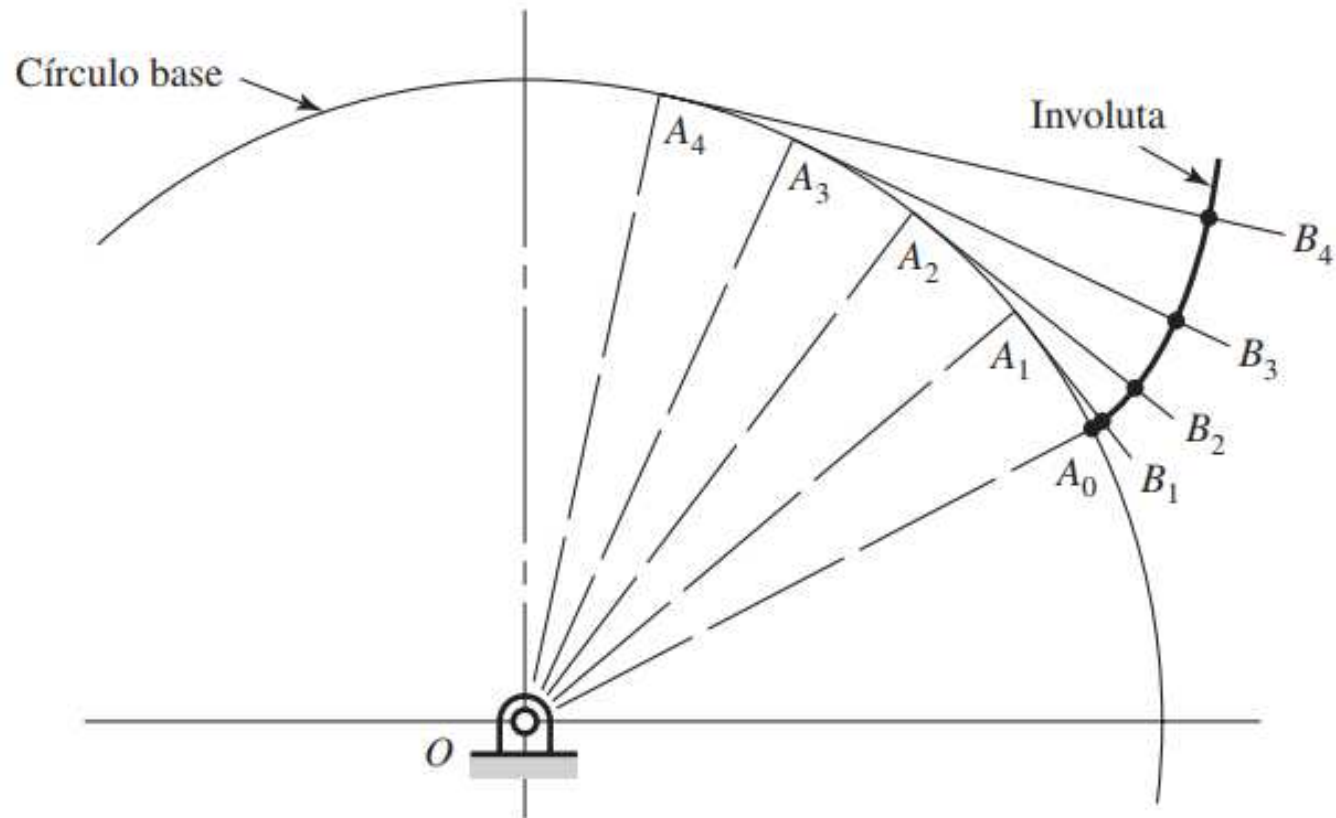
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## **Ley Fundamental del Engrane**

La normal común a los perfiles de los dientes en todos los puntos de contacto, dentro del engranado debe pasar por un punto fijo en la línea de centros, llamado punto de paso.

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

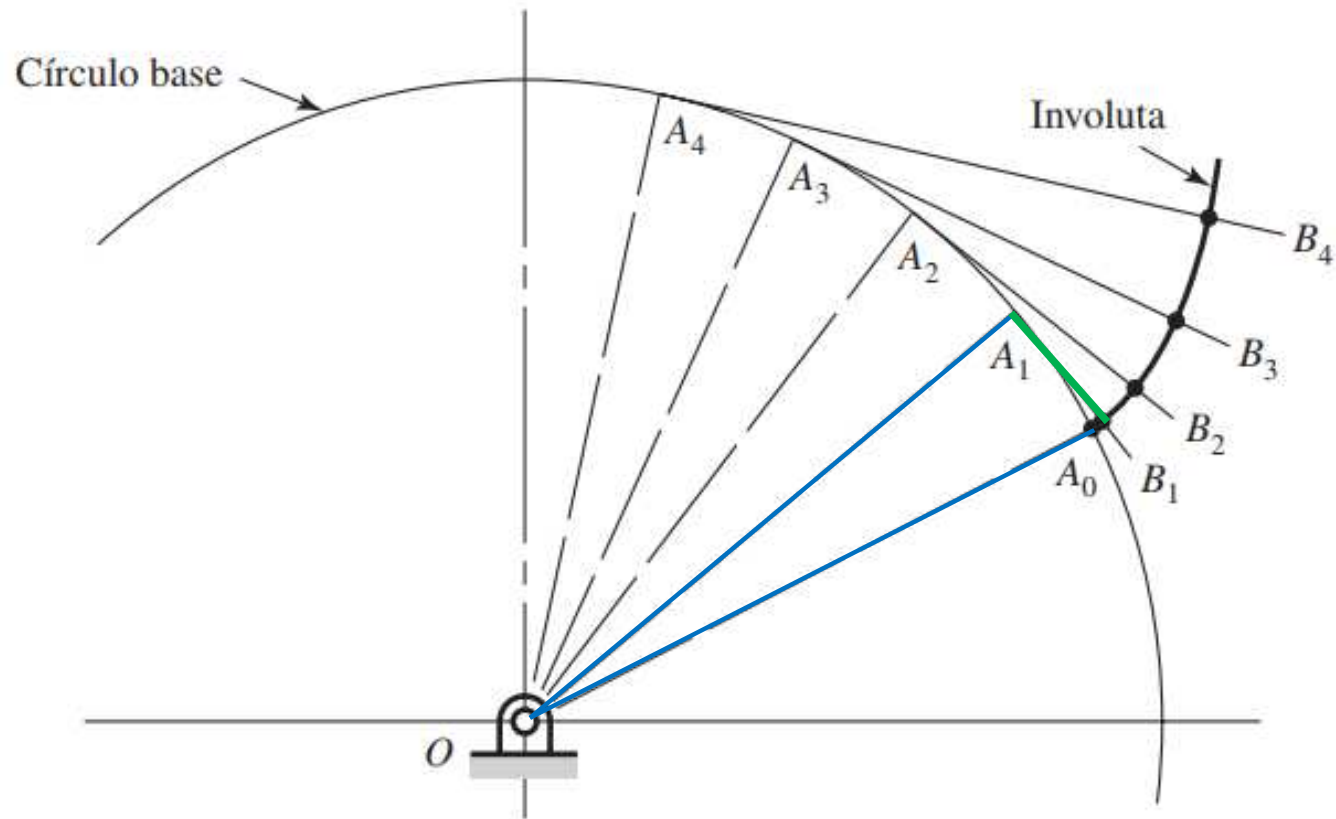
## Trazado del Perfil Involuta o Evolvente



$$\text{Distancia entre puntos} = \frac{(\text{perimetro círculo base}) \times (\text{grados a escoger})}{360^\circ}$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

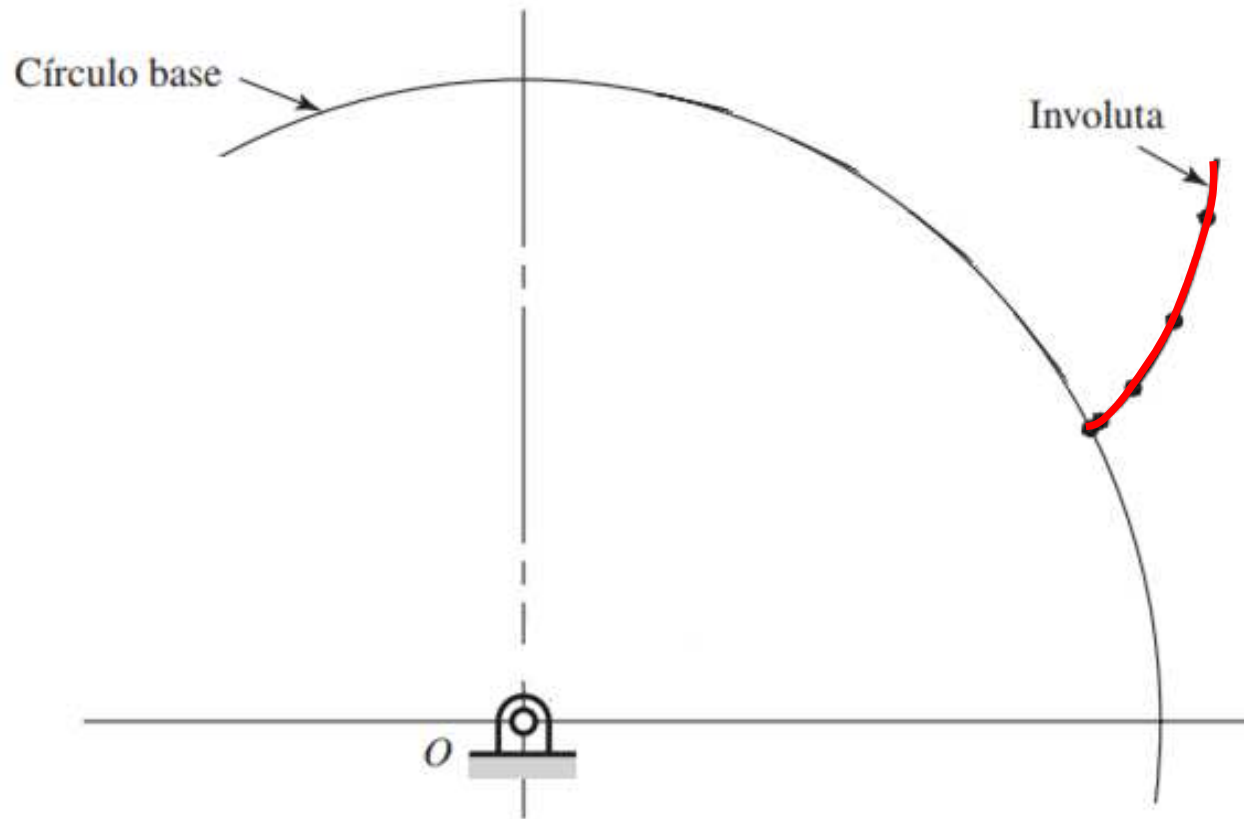
## Trazado del Perfil Involuta o Evolvente



$$\text{Distancia entre puntos (A1yB1)} = \frac{(\text{perimetro circulo base}) \times (10^\circ)}{360^\circ}$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Trazado del Perfil Involuta o Evolvente



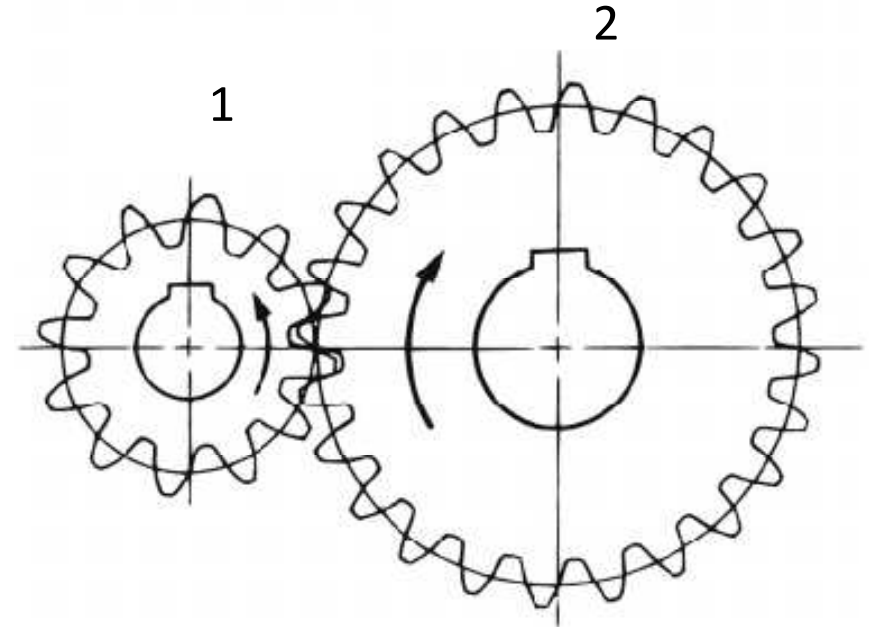
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane

$$\omega_1 = 1200 \text{ rpm} \quad N_1=20 \quad Pd=10$$

$$\omega_2 = 600 \text{ rpm}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 2$$



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane

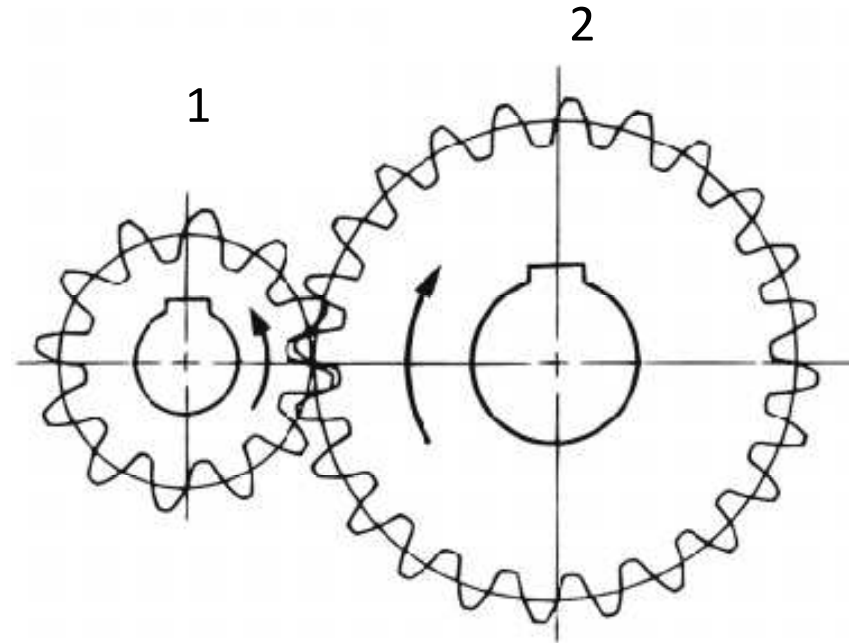
$$\omega_1 = 1200 \text{ rpm} \quad N_1 = 20 \quad P_d = 10$$

$$\omega_2 = 600 \text{ rpm}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 2$$

$$P_d = \frac{N}{d} \quad \longrightarrow \quad d_1 = \frac{N_1}{P_d} = \frac{20}{10} = 2''$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = 2 \quad \longrightarrow \quad d_2 = 4''$$

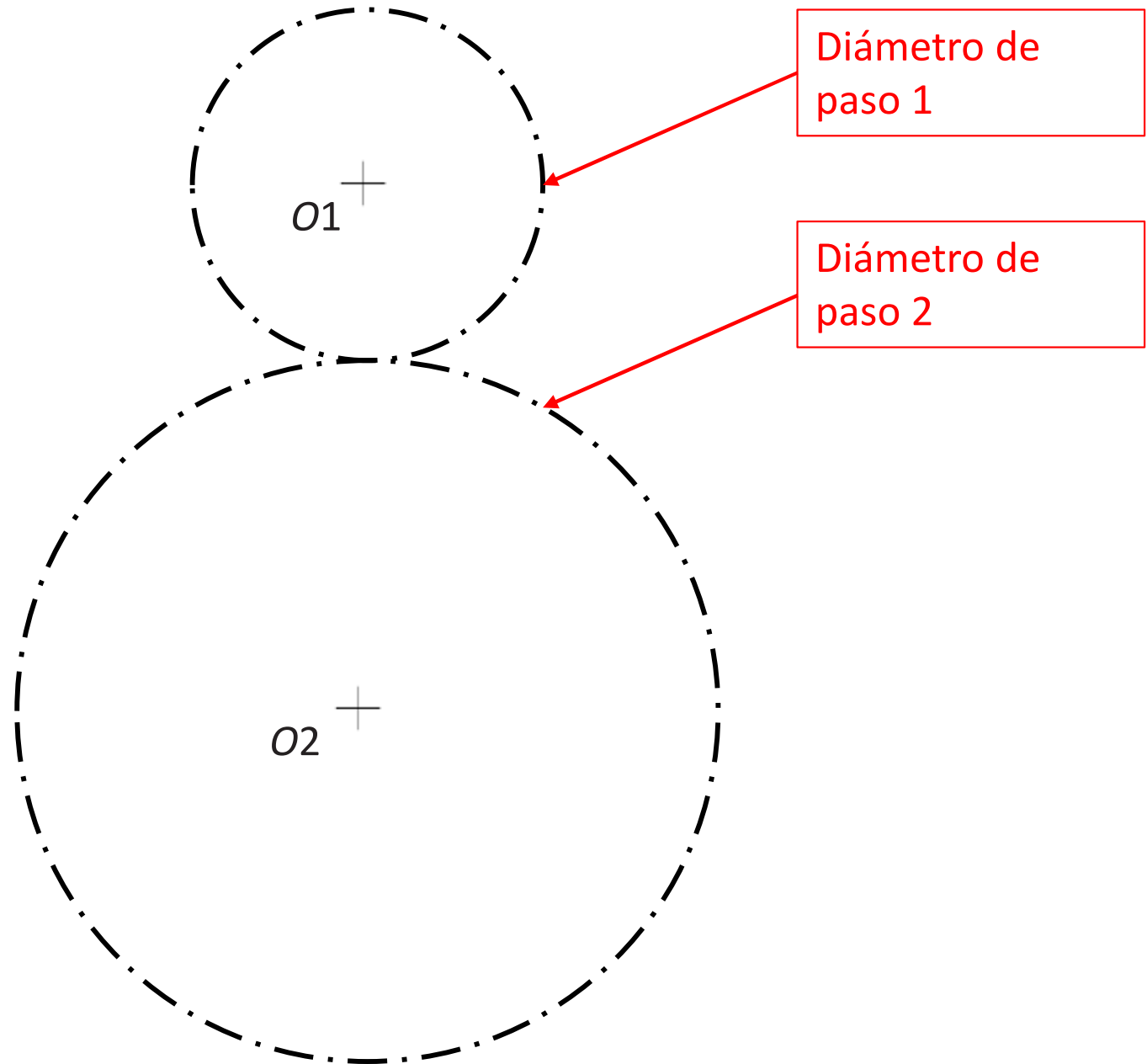


# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane

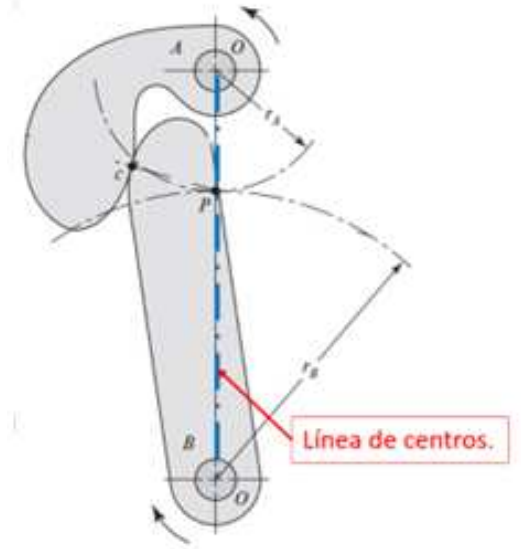
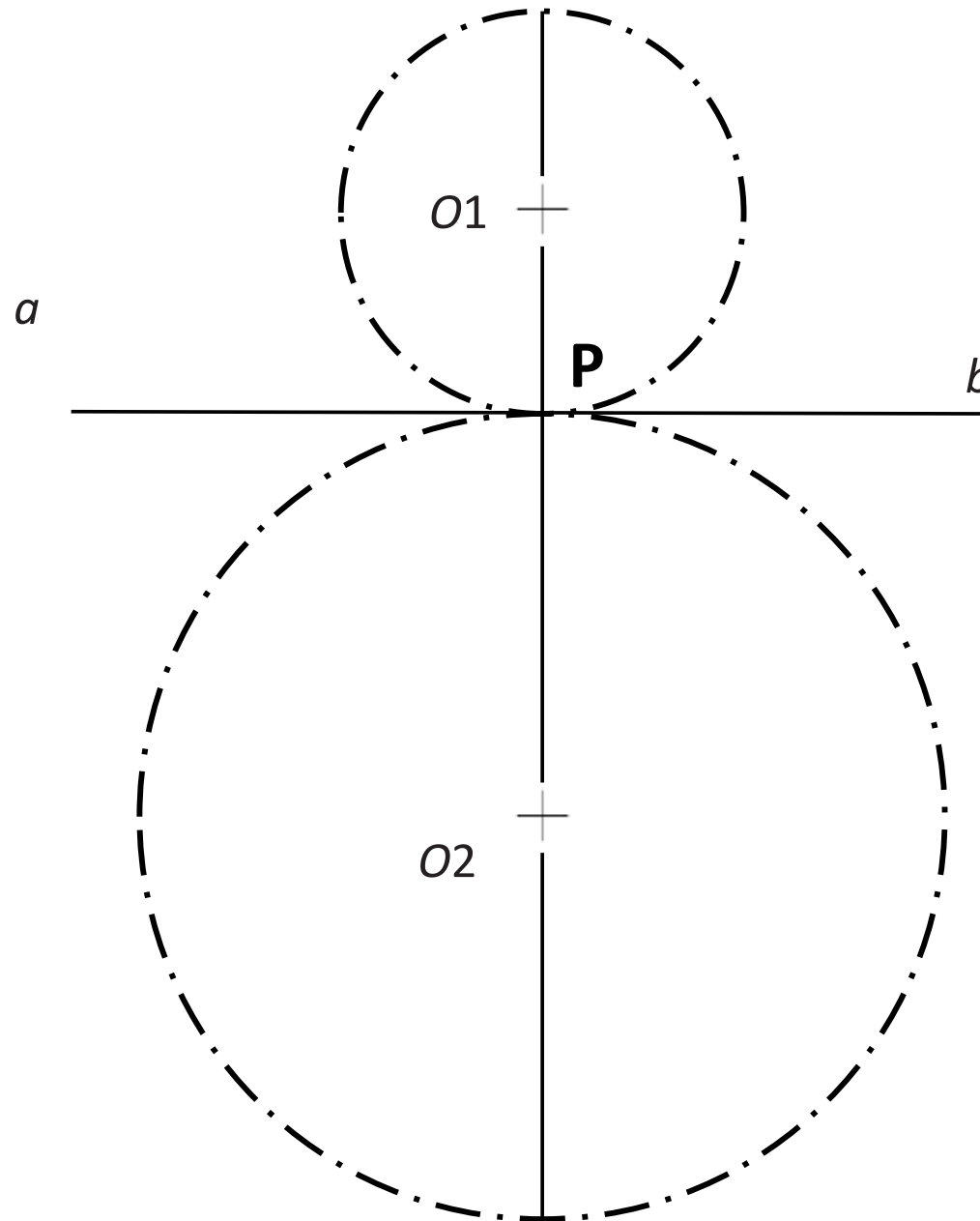
$$d_1 = 2''$$

$$d_2 = 4''$$



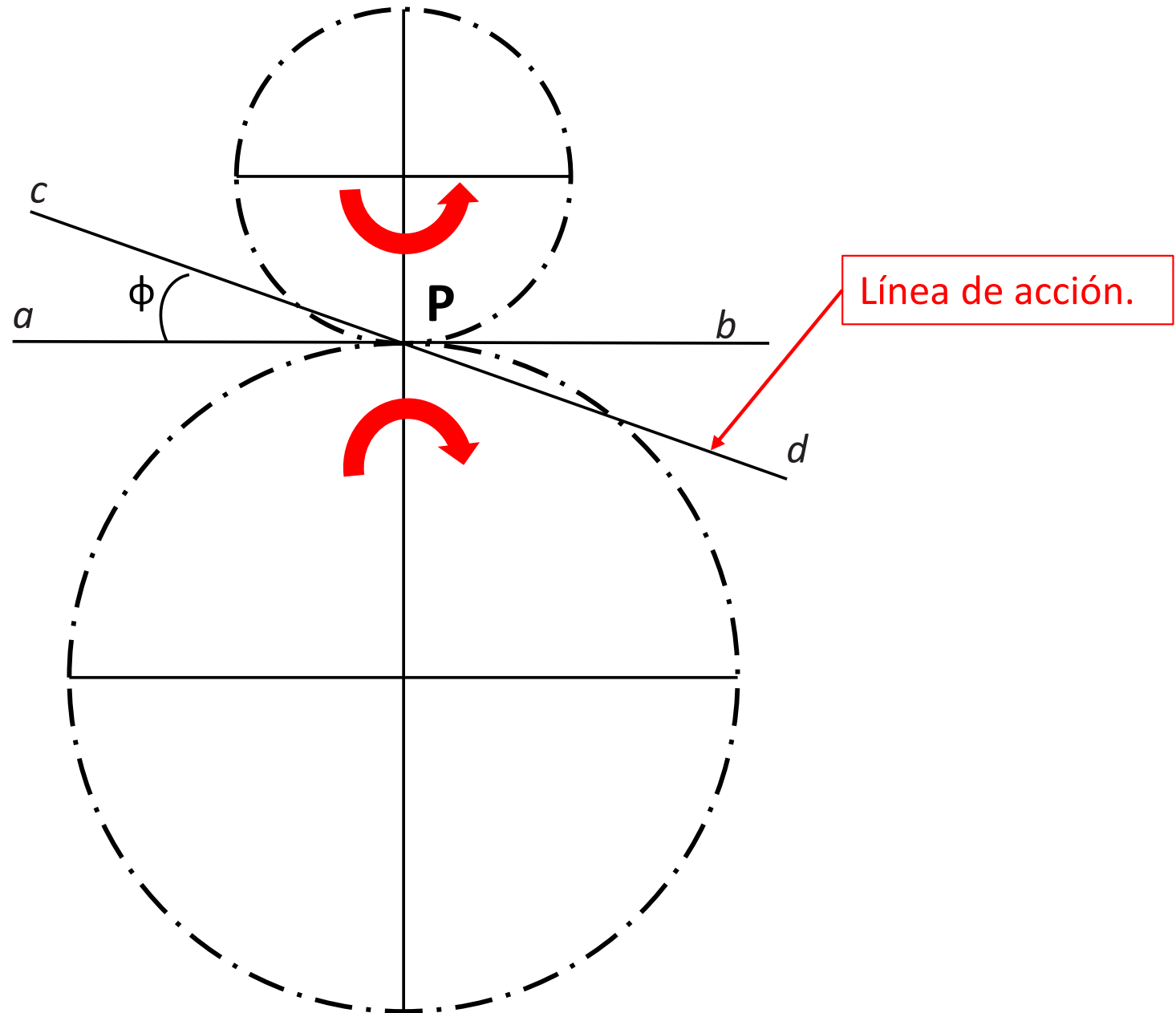
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane



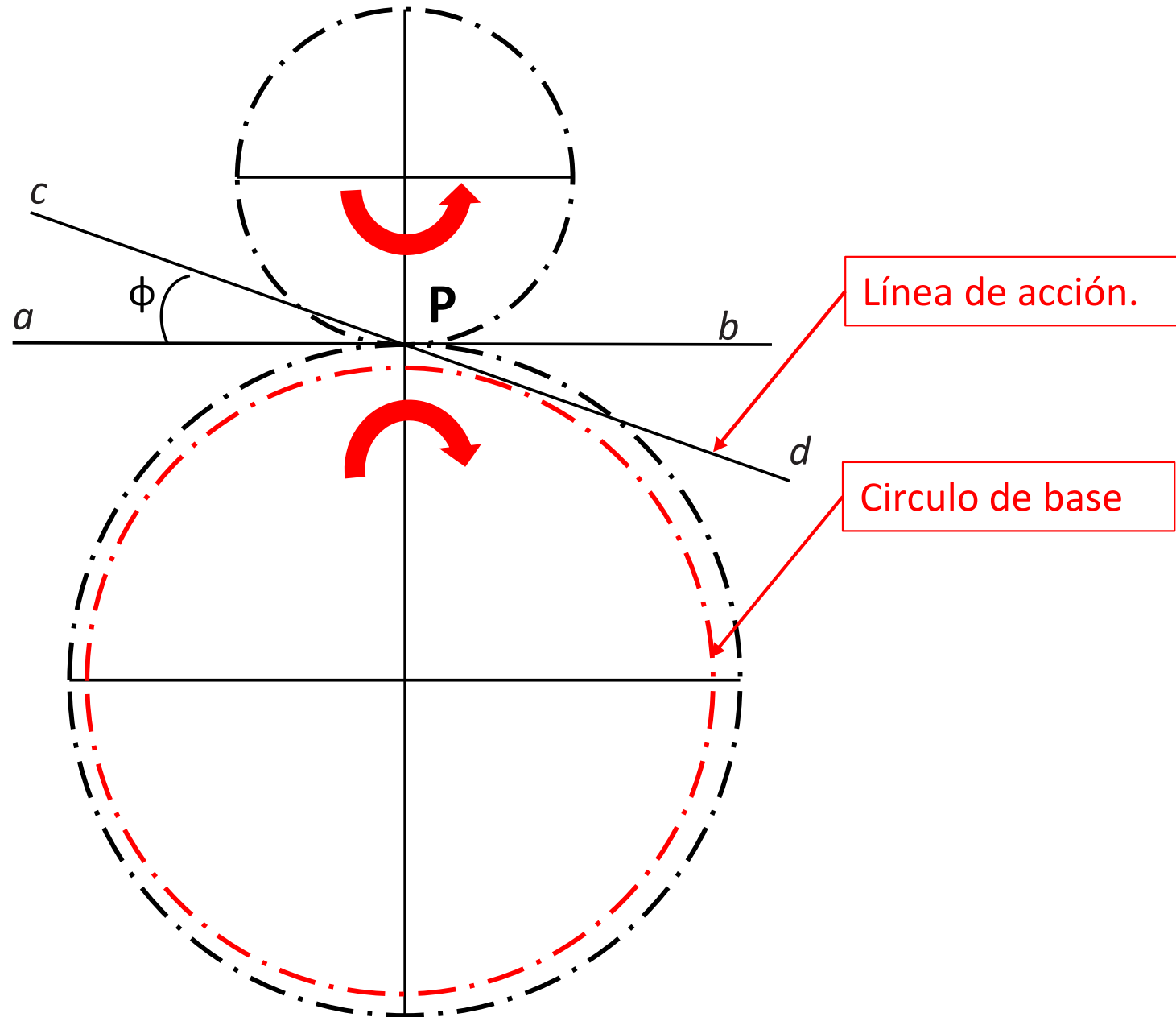
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane



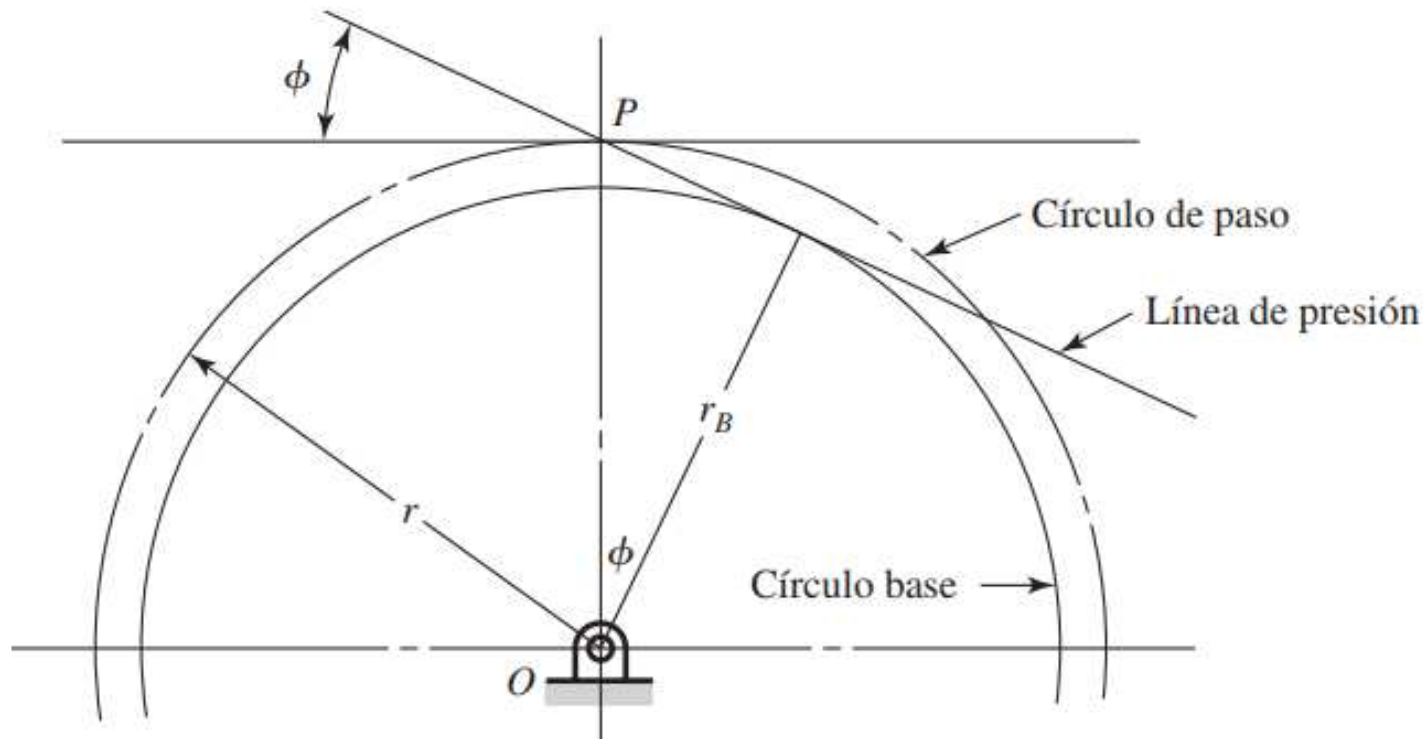
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

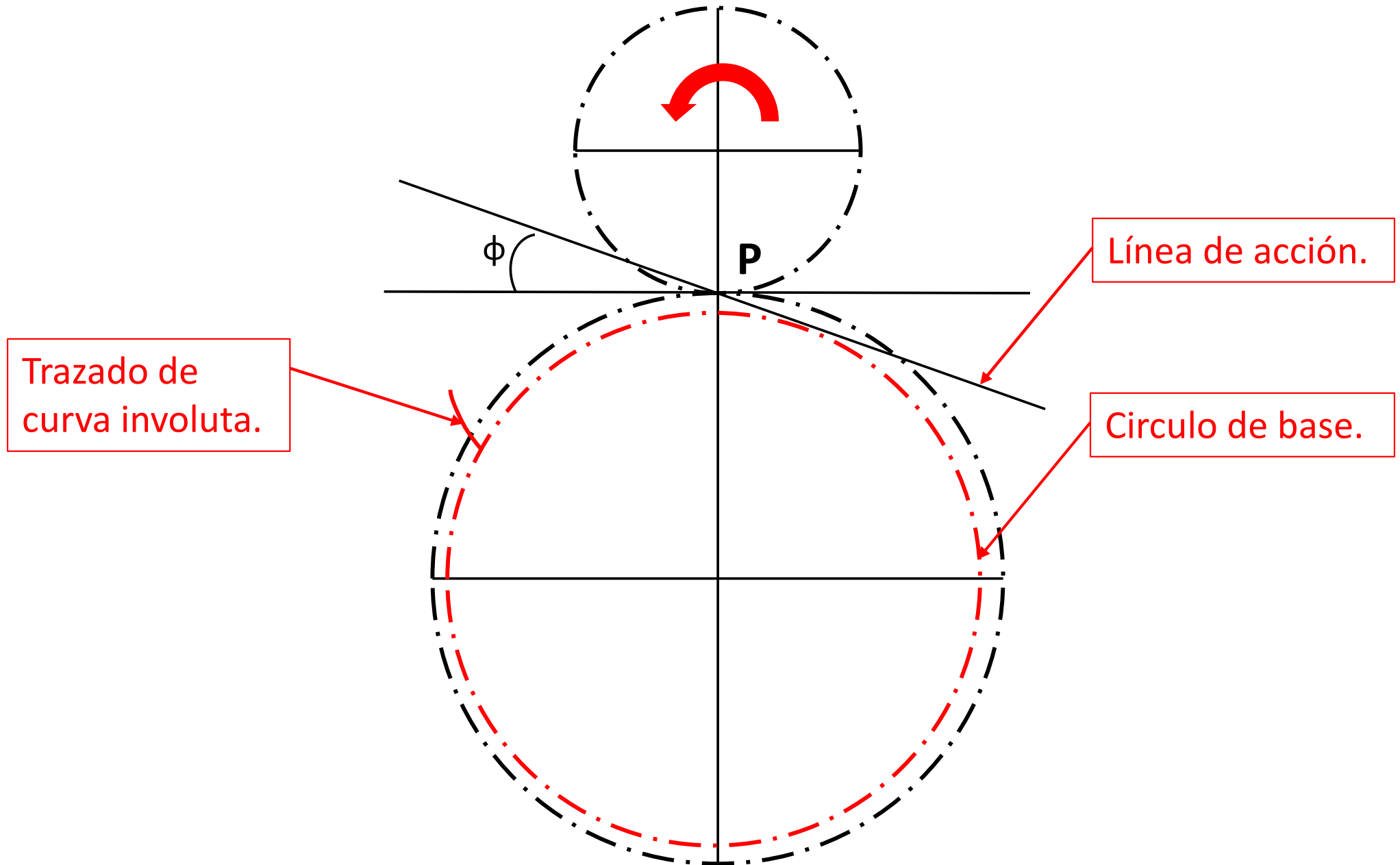
## Configuración de un Engrane



$$r_b = r \cos \phi$$

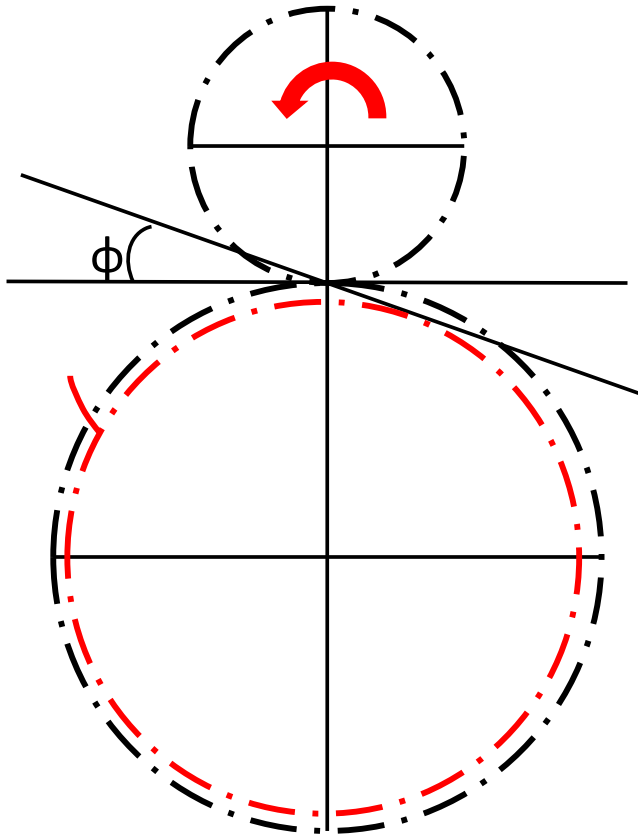
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane



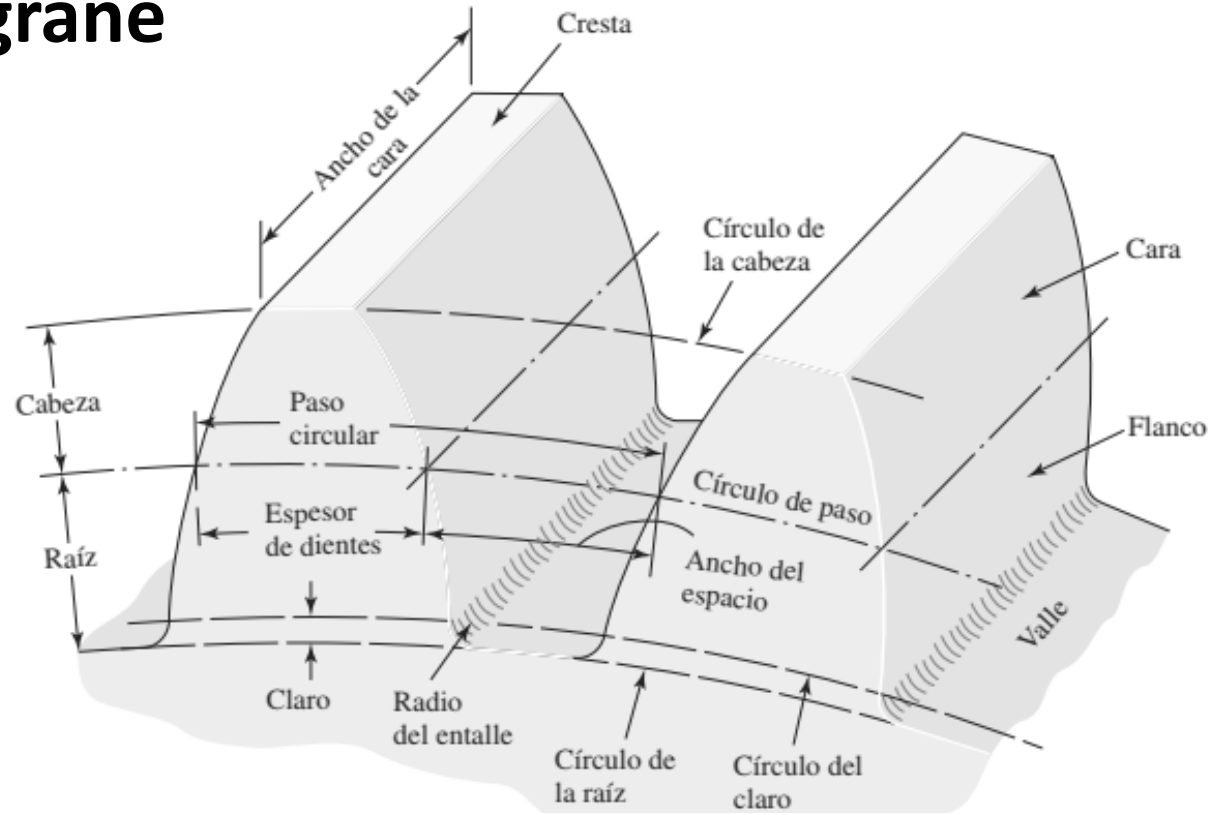
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane



Paso circular corresponde a  $p = \pi / P$

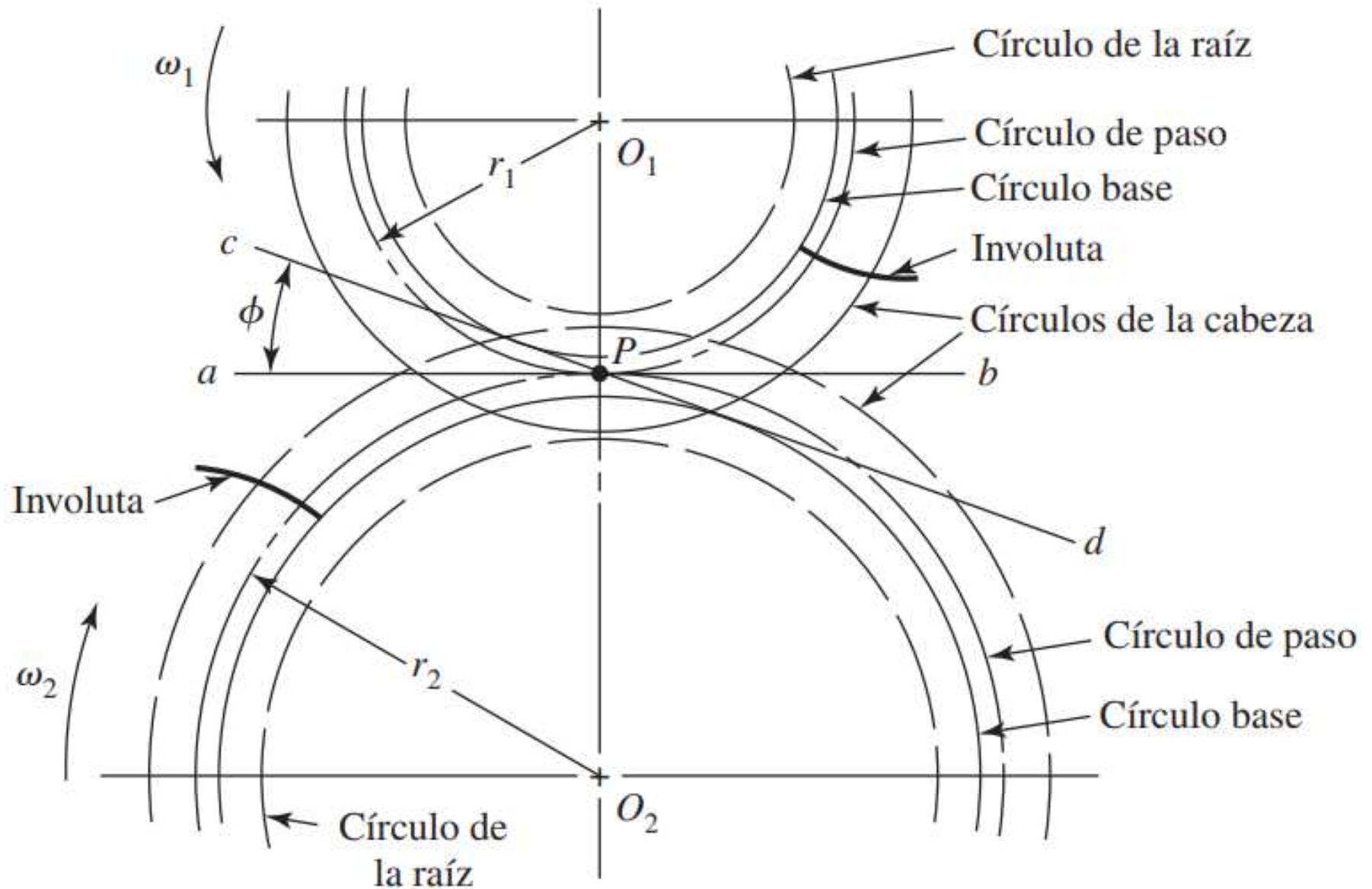
Espesor del diente es  $t = p / 2$



Sistema de dientes	Ángulo de presión $\phi$ , grados	Cabeza (addendum) $a$	Raíz (dedendum) $b$
Profundidad total	20	$1/P_d$ o bien $1m$	$1.25/P$ o bien $1.25m$
	$22\frac{1}{2}$	$1/P_d$ o bien $1m$	$1.35/P$ o bien $1.35m$
			$1.25/P$ o bien $1.25m$
Dientes recortados	25	$1/P_d$ o bien $1m$	$1.35/P$ o bien $1.35m$
			$1.25/P$ o bien $1.25m$
Dientes recortados	20	$0.8/P_d$ o bien $0.8m$	$1/P$ o bien $1m$

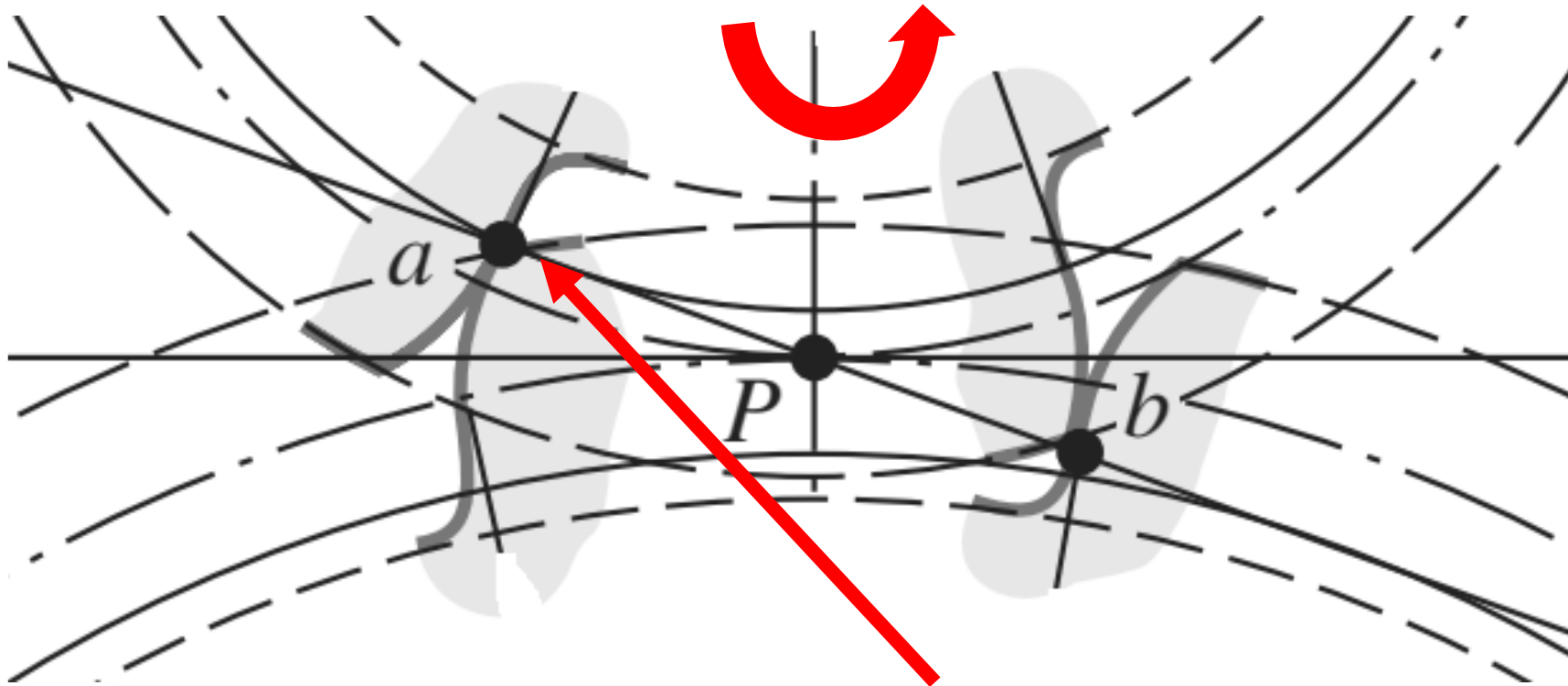
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Configuración de un Engrane



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

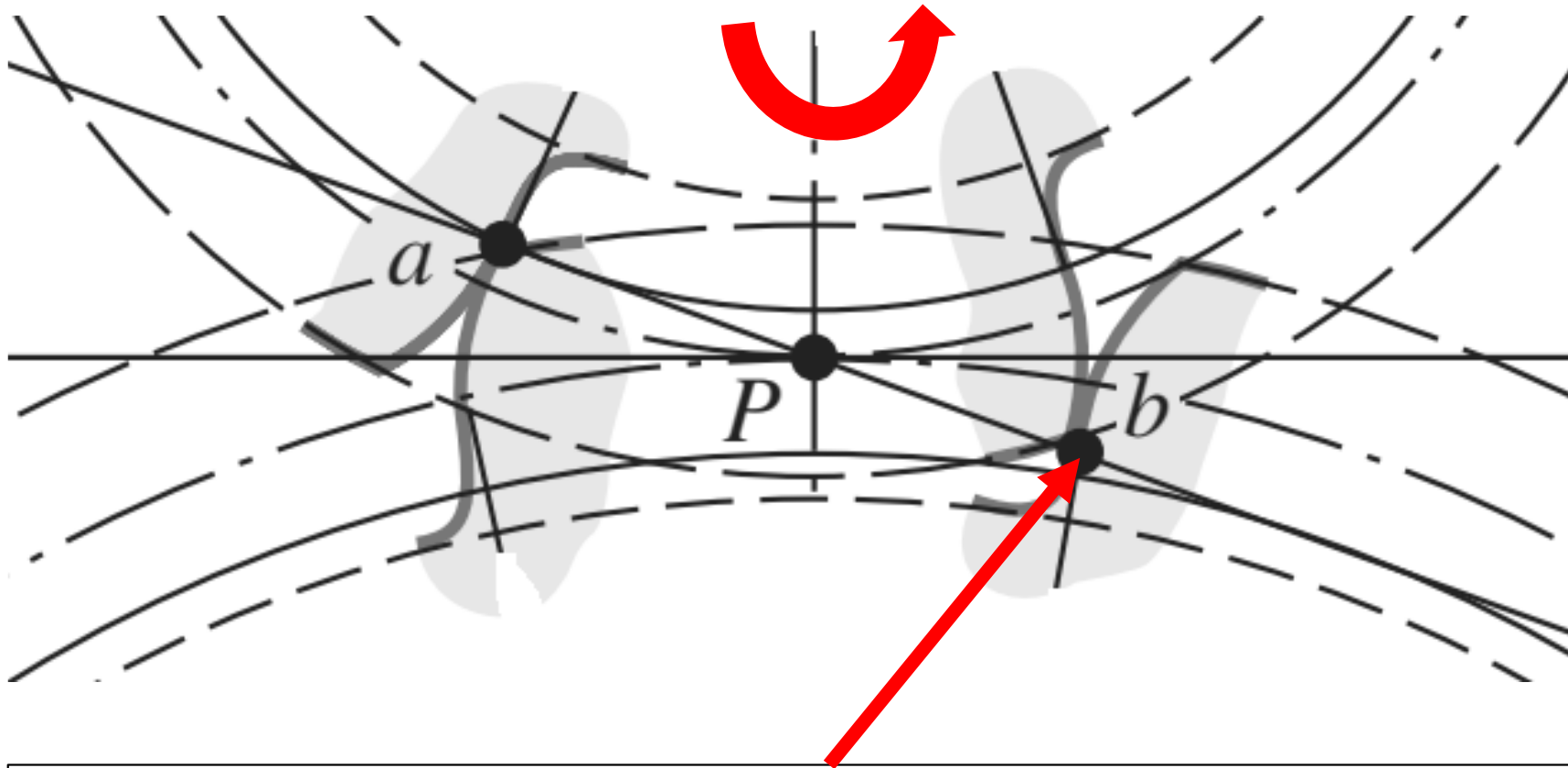
## Relación de Contacto



El contacto inicial tendrá lugar cuando el flanco del impulsor esté en contacto con la punta del diente impulsado, lo que ocurre **en el punto a** donde el círculo de la cabeza del engrane impulsado cruza la línea de presión.

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

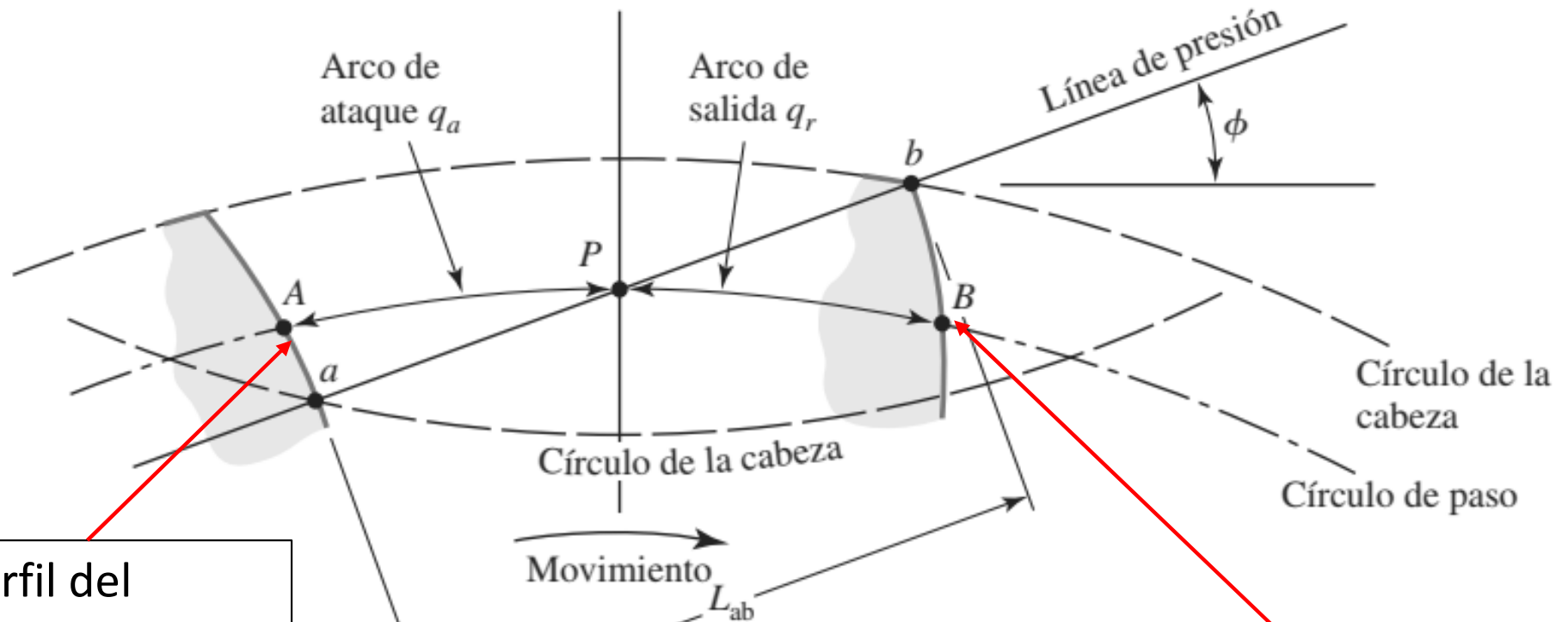
## Relación de Contacto



Por lo tanto, el punto de contacto final se ubica donde el círculo de la cabeza del impulsor cruza la línea de presión. Éste es el **punto b**.

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Relación de Contacto



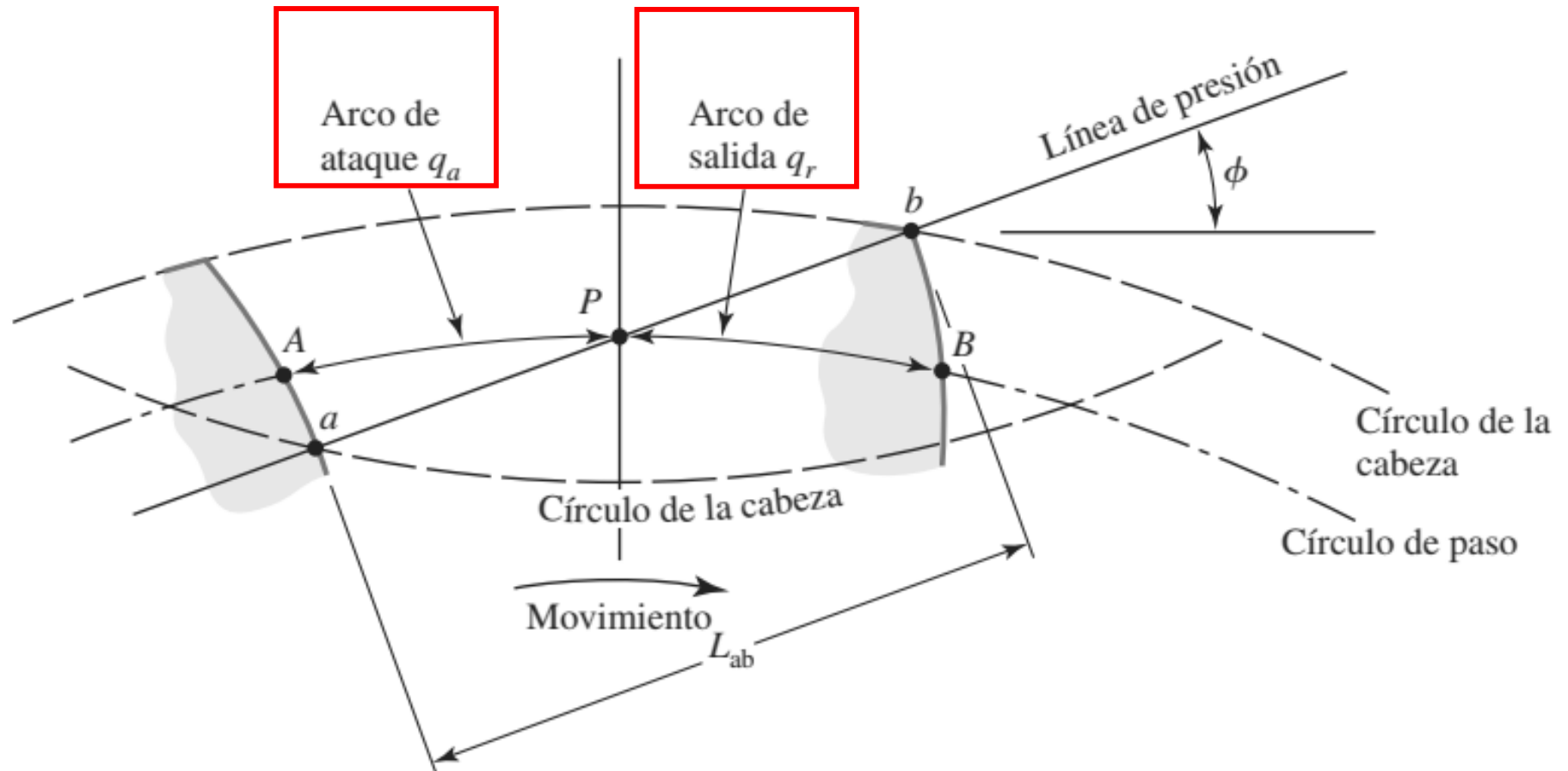
El perfil del diente en la posición de intersección **a**, intersecta el círculo de paso en **A**.

El perfil del diente en la posición de intersección **b**, intersecta el círculo de paso en **B**.



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

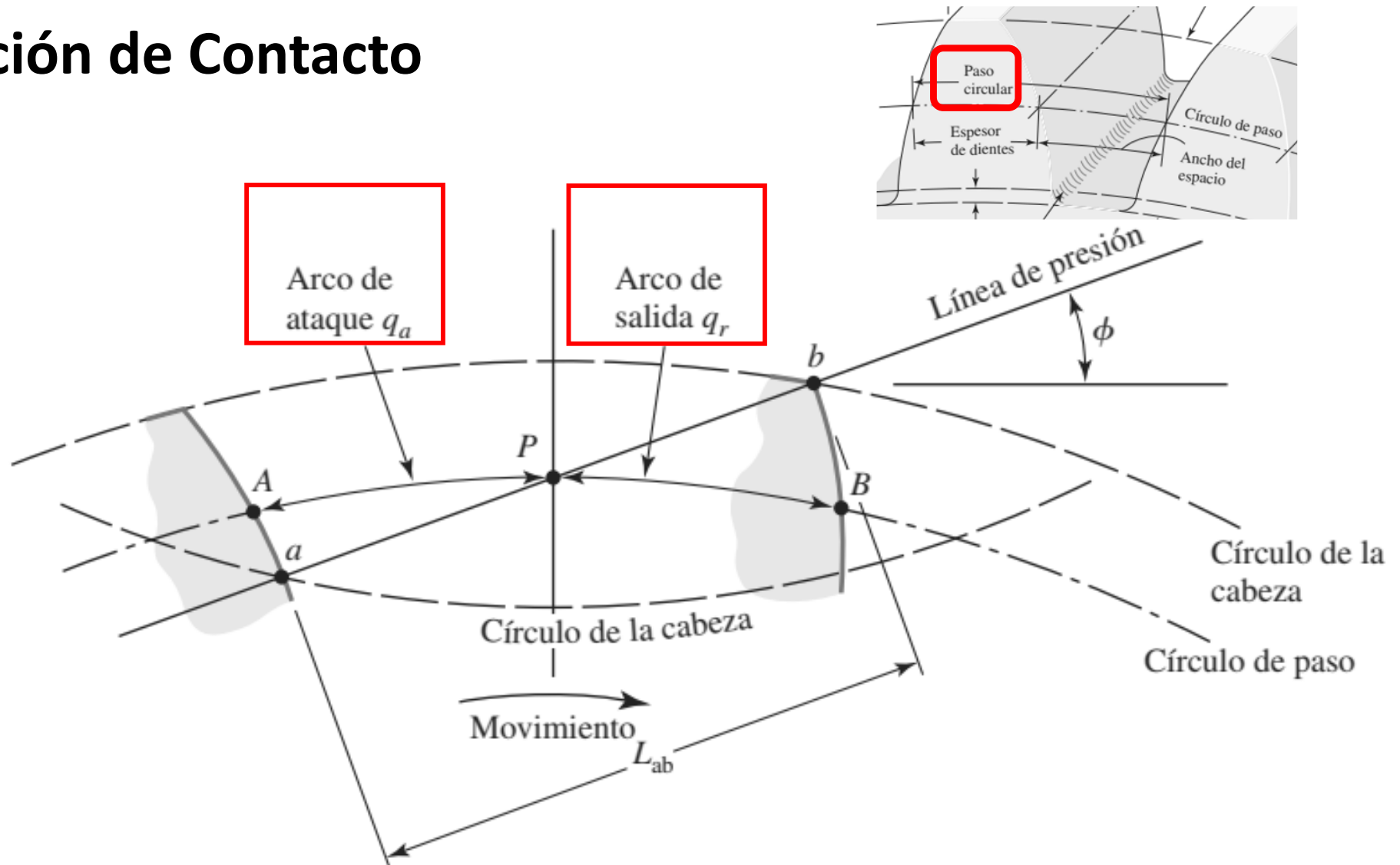
## Relación de Contacto



Arco de ataque  $q_a$  + Arco de salida  $q_r$  = **Arco de acción  $q_t$**

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Relación de Contacto

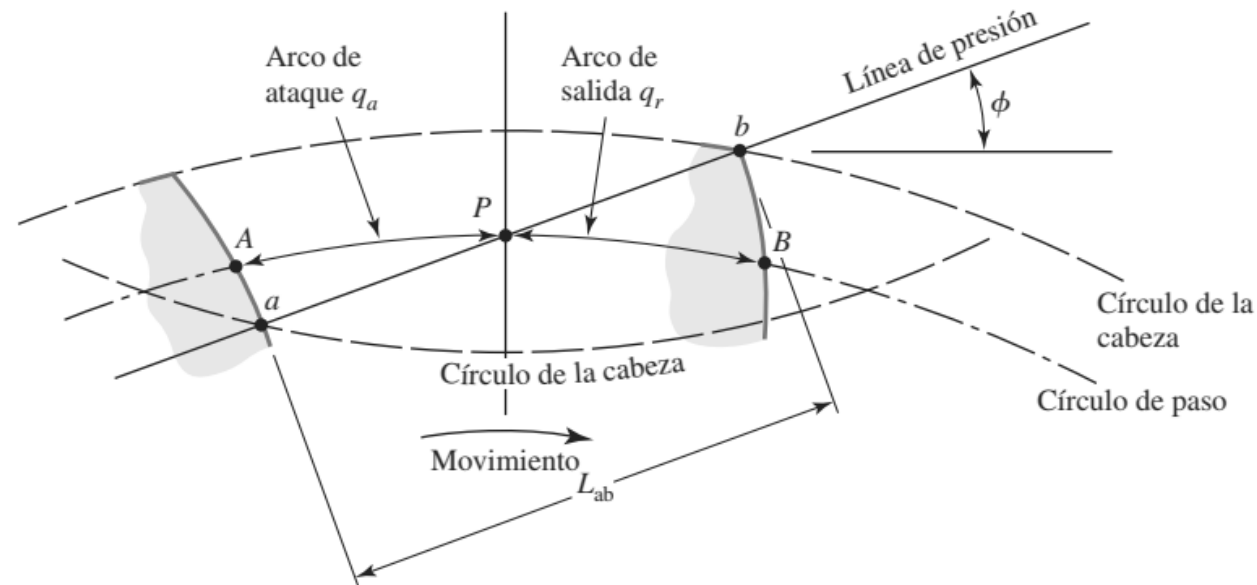


Si  $q_t = p$  (paso circular) = habrá solamente un par de diente en contacto

Si  $q_t > p$  (paso circular) = habrá más de un par de diente en contacto

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Relación de Contacto



Relación de contacto 
$$m_c = \frac{q_t}{p} \quad (13-8)$$

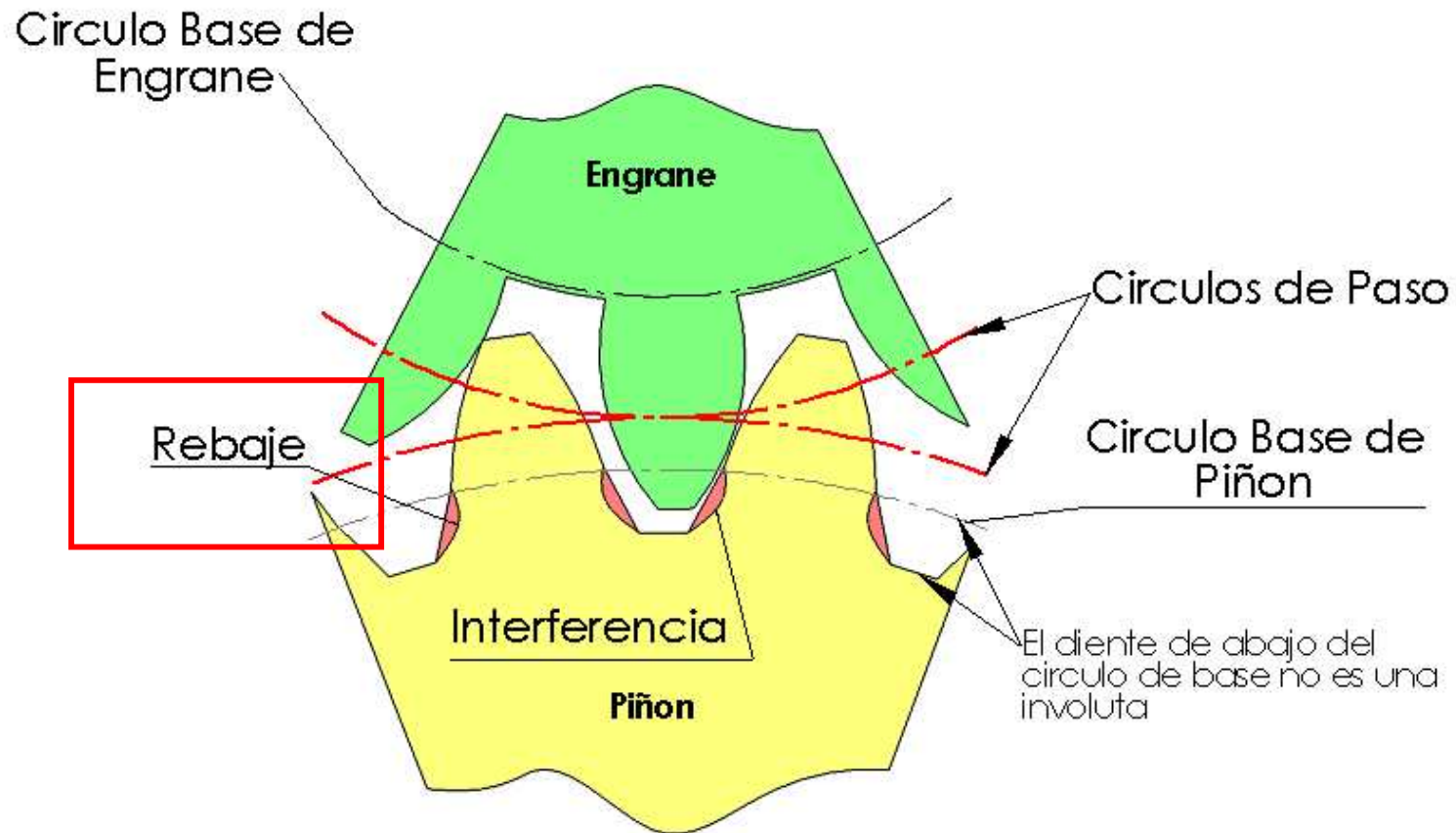
No se recomienda diseñar engranajes con **relaciones de contacto menores a 1.2**, ya que las imprecisiones de montaje pueden reducirla aún más, aumentando el riesgo de impacto entre dientes y el nivel de ruido.



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Interferencia

El contacto de partes de los perfiles de dientes no conjugados se llama **interferencia**. Es el contacto de la parte del perfil no envolvente del diente



El perfil envolvente de un diente inicia en la circunferencia base y va hasta la cabeza del diente

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Interferencia

Cuando se produce interferencia

### 1. Cuando hay pocos dientes en el engranaje pequeño (piñón)

- Si el piñón tiene muy pocos dientes, el perfil del diente puede llegar a tocar la base del diente del engranaje grande

### 2. Cuando el centro de distancia entre engranajes es menor al necesario

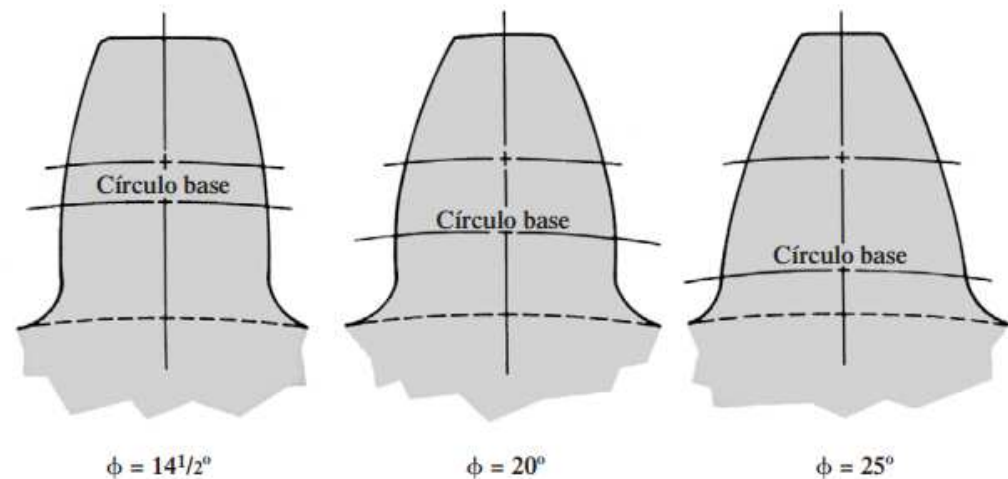
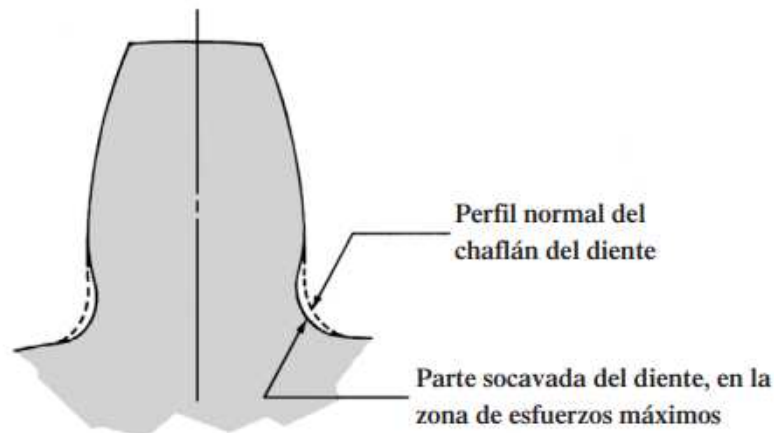
- Esto fuerza un contacto más profundo entre los dientes, llevándolos fuera de la zona evolvente.

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Interferencia

### Como evitar la interferencia

- Aumentando el número de dientes del piñón.
- Producir los dientes de engranes mediante un proceso de generación.
- Aumentando el ángulo de presión (por ejemplo, de  $20^\circ$  a  $25^\circ$ ).



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Interferencia

Como evitar la interferencia

- Número de dientes.

Relación de engranes uno a uno

$$N_P = \frac{2k}{3 \operatorname{sen}^2 \phi} \left( 1 + \sqrt{1 + 3 \operatorname{sen}^2 \phi} \right) \quad (13-10)$$

$k = 1$       Dientes de profundidad completa

$k = 0,8$     Dientes cortos

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Interferencia

Como evitar la interferencia

- Número de dientes.

Relación de engranes mayor a uno

$$N_P = \frac{2k}{(1 + 2m) \operatorname{sen}^2 \phi} \left( m + \sqrt{m^2 + (1 + 2m) \operatorname{sen}^2 \phi} \right) \quad (13-11)$$

$$N_G = \frac{N_P^2 \operatorname{sen}^2 \phi - 4k^2}{4k - 2N_P \operatorname{sen}^2 \phi} \quad (13-12)$$

$$m = \frac{N_G}{N_P}$$

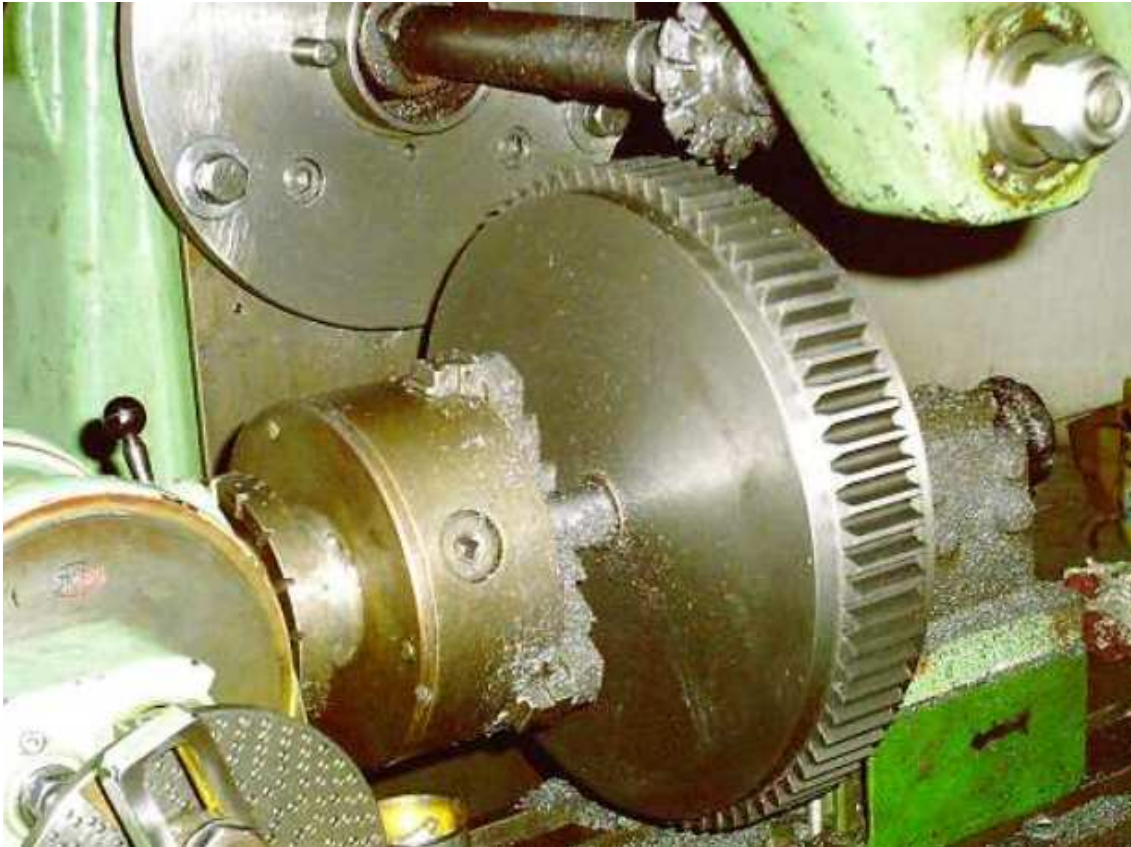
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas

- Fundición (arena, moldeo de cascara, centrifuga, etc.)
- Pulvimetalurgia .
- Extrusión.
- Corte formador.
- Corte generador.

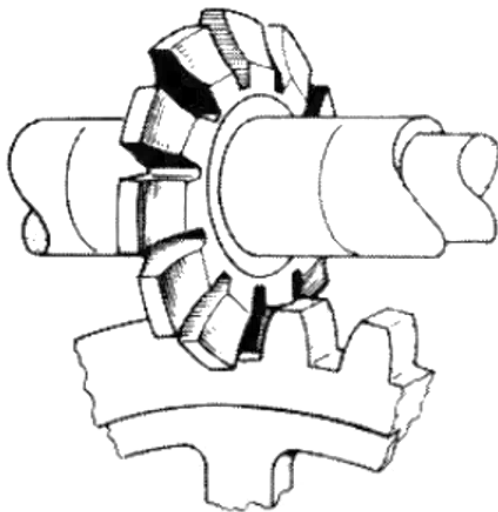
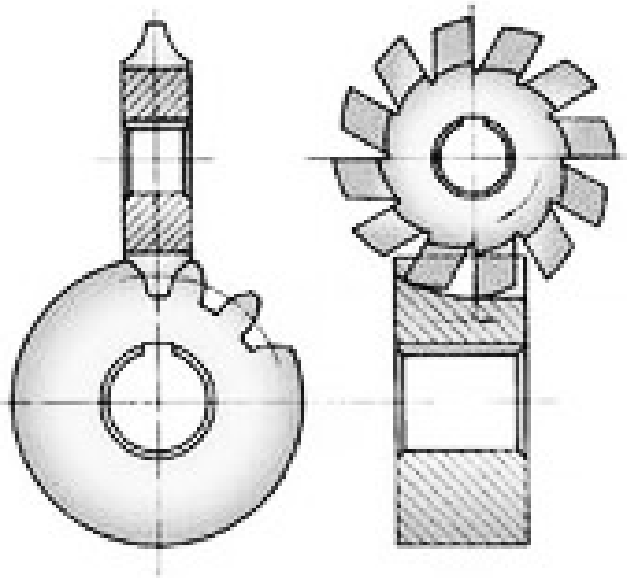
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas (Formación)



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

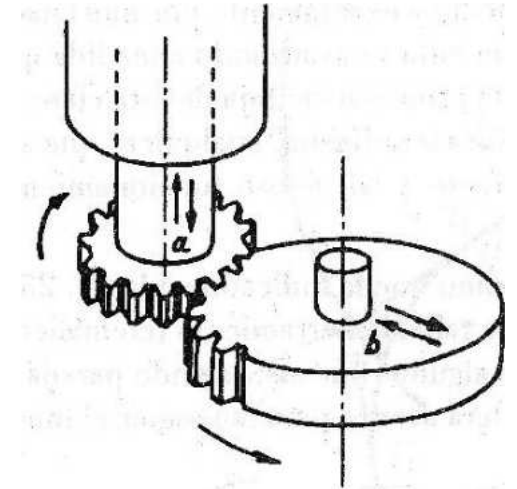
## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas (Generación)

Cortadora por Piñón Fellows



talladora de engranajes sistema fellows

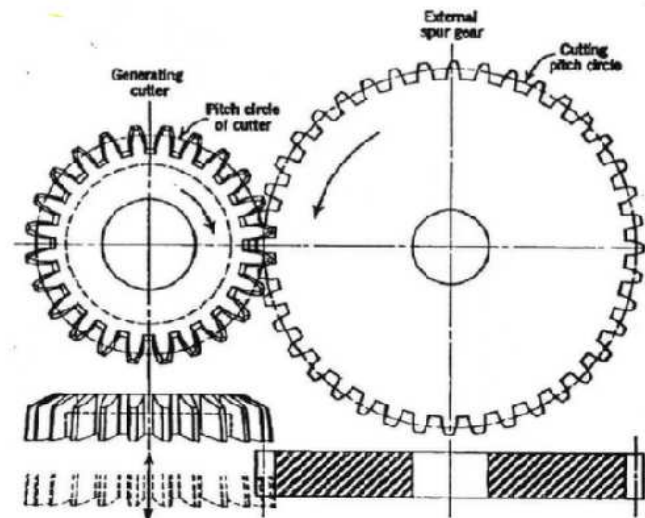
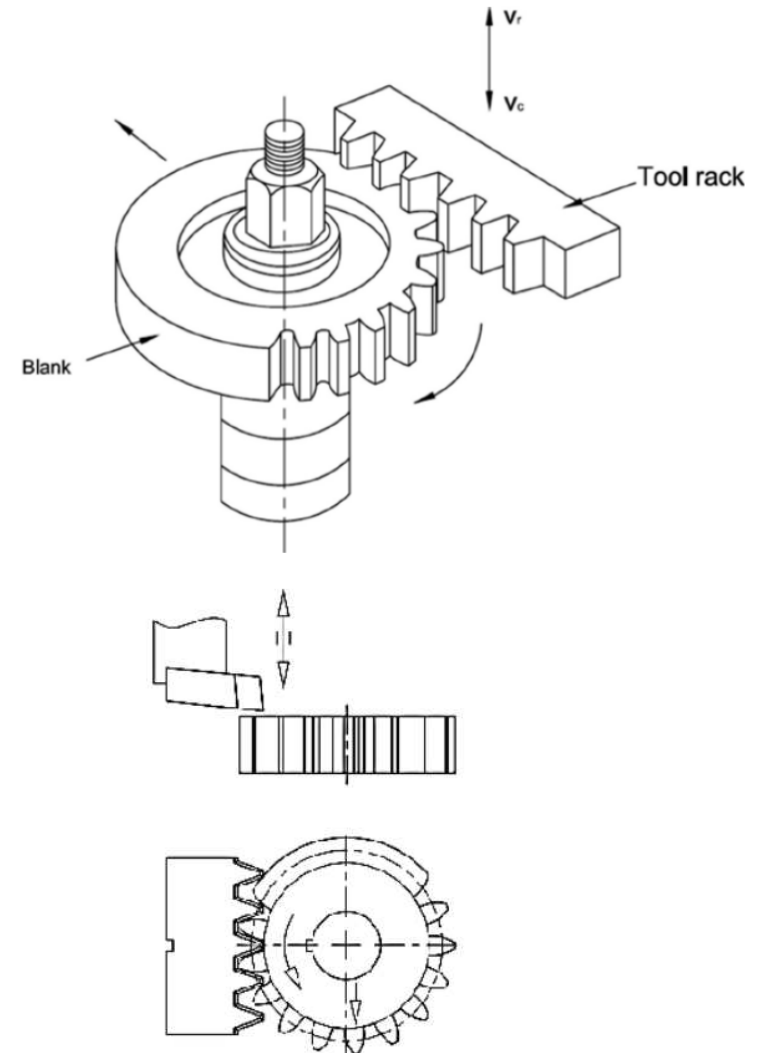


FIGURE 4.16a Fellows method of gear generating. (Courtesy of Fellows Corporation.)

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas (Generación)

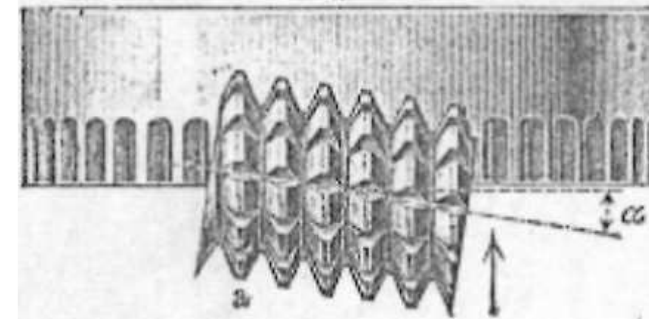
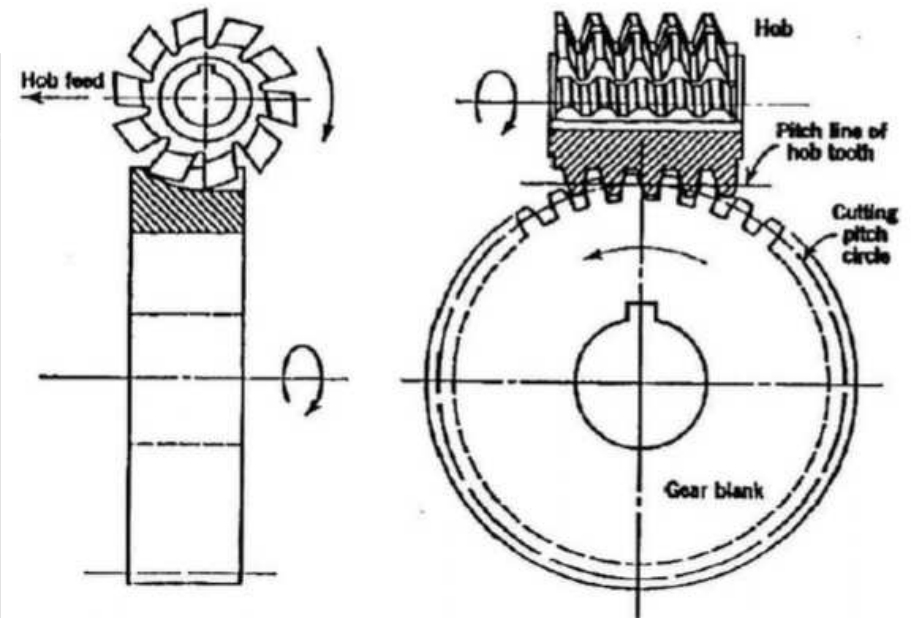
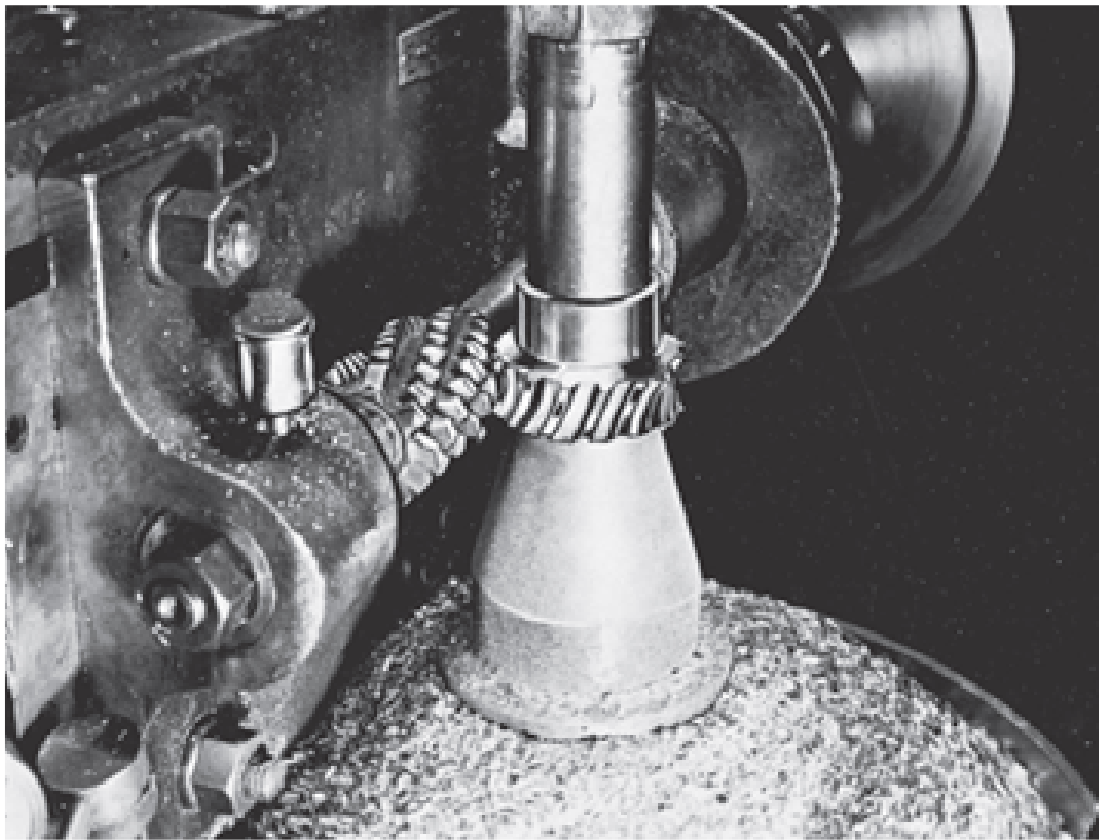
Cortadora por Piñón Maag



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas (Generación)

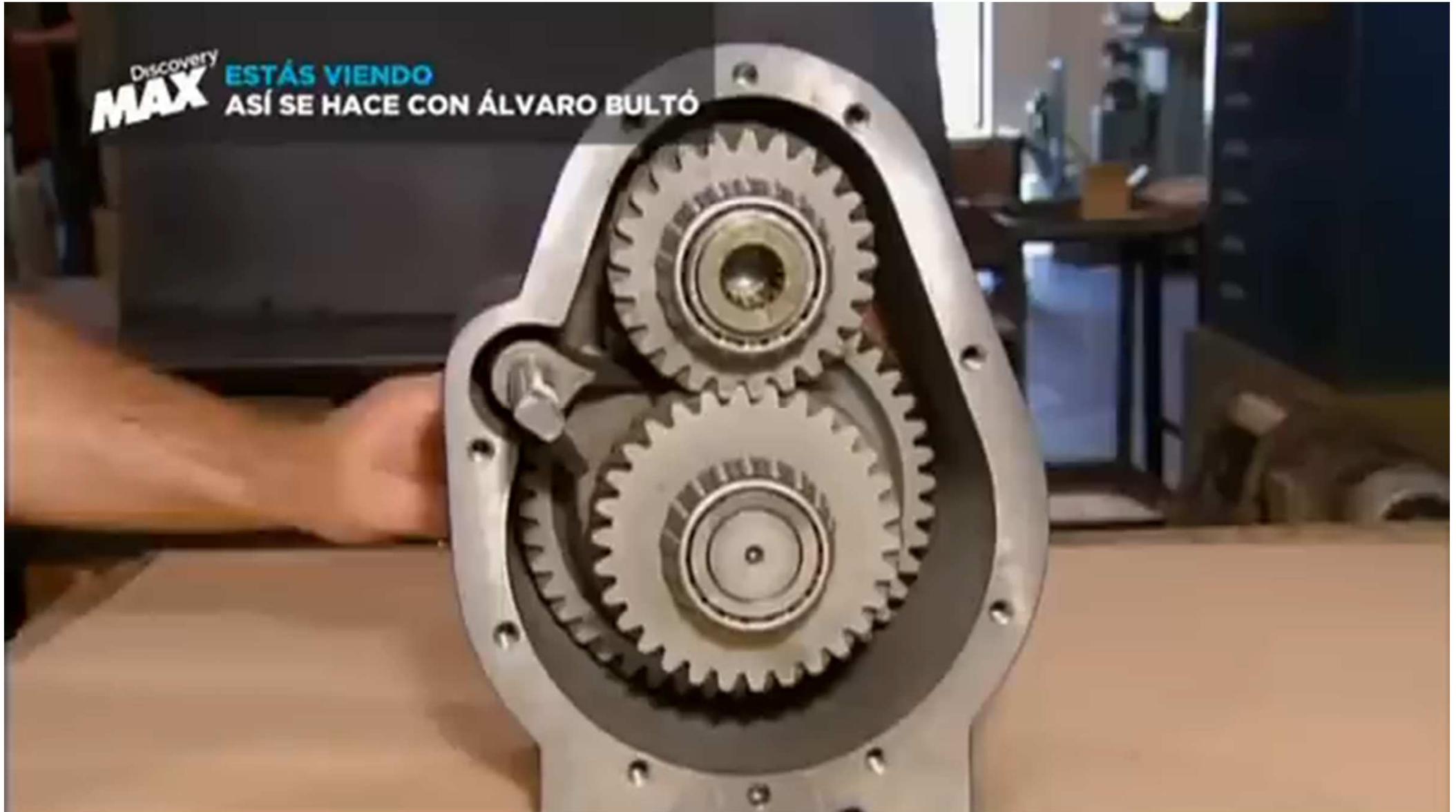
Generación con fresa madre o dentadora Pfauter



tallado de engranajes rectos

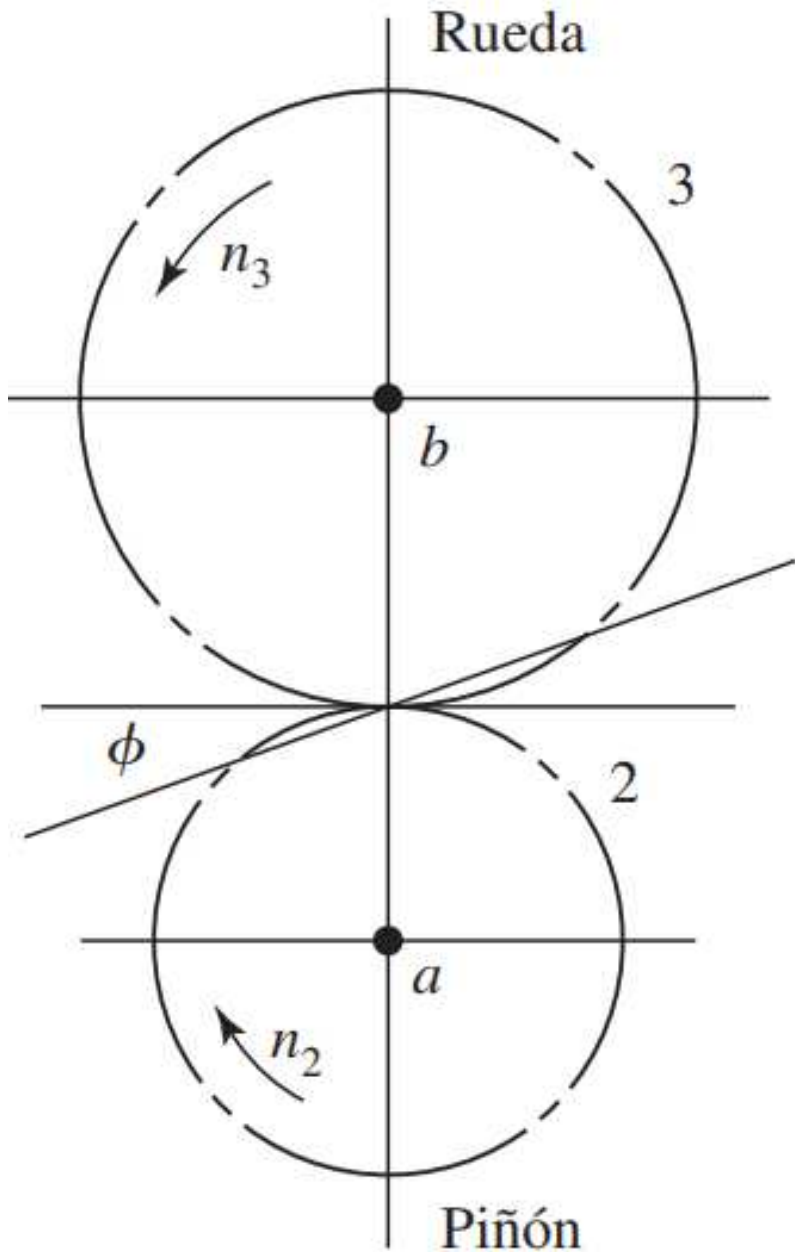
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Formación de Dientes de Ruedas Dentadas



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Análisis de Fuerzas Par de Dientes Embonados



### Notación:

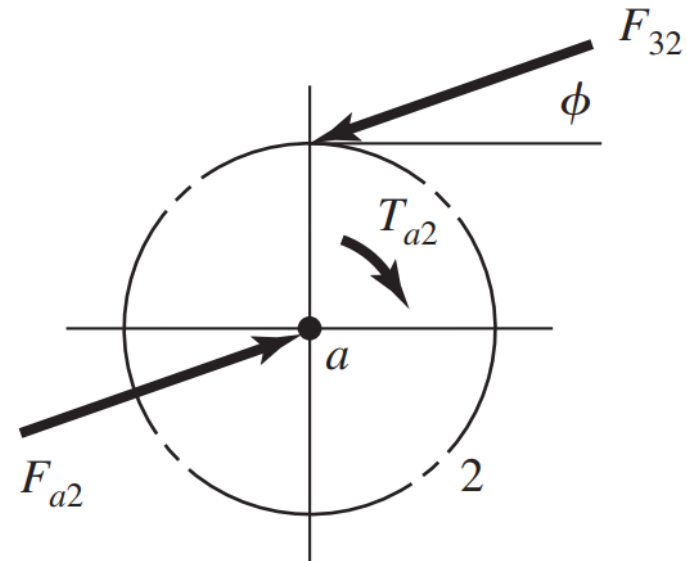
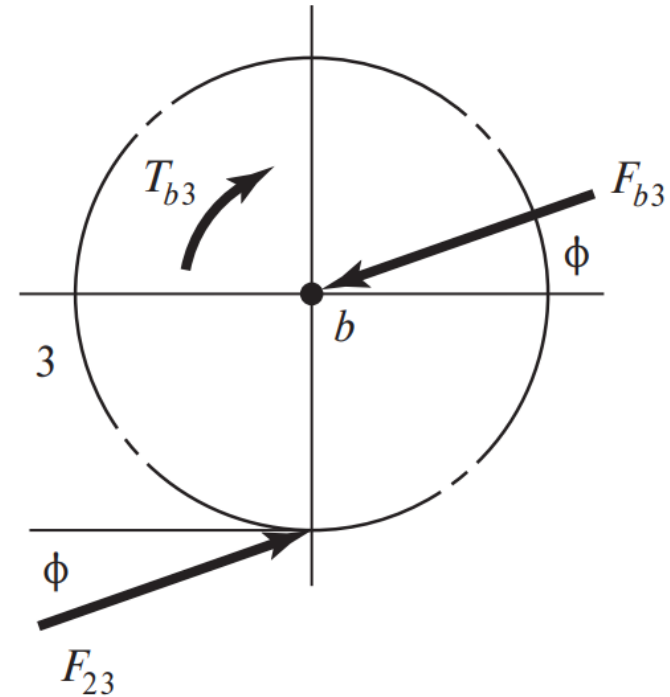
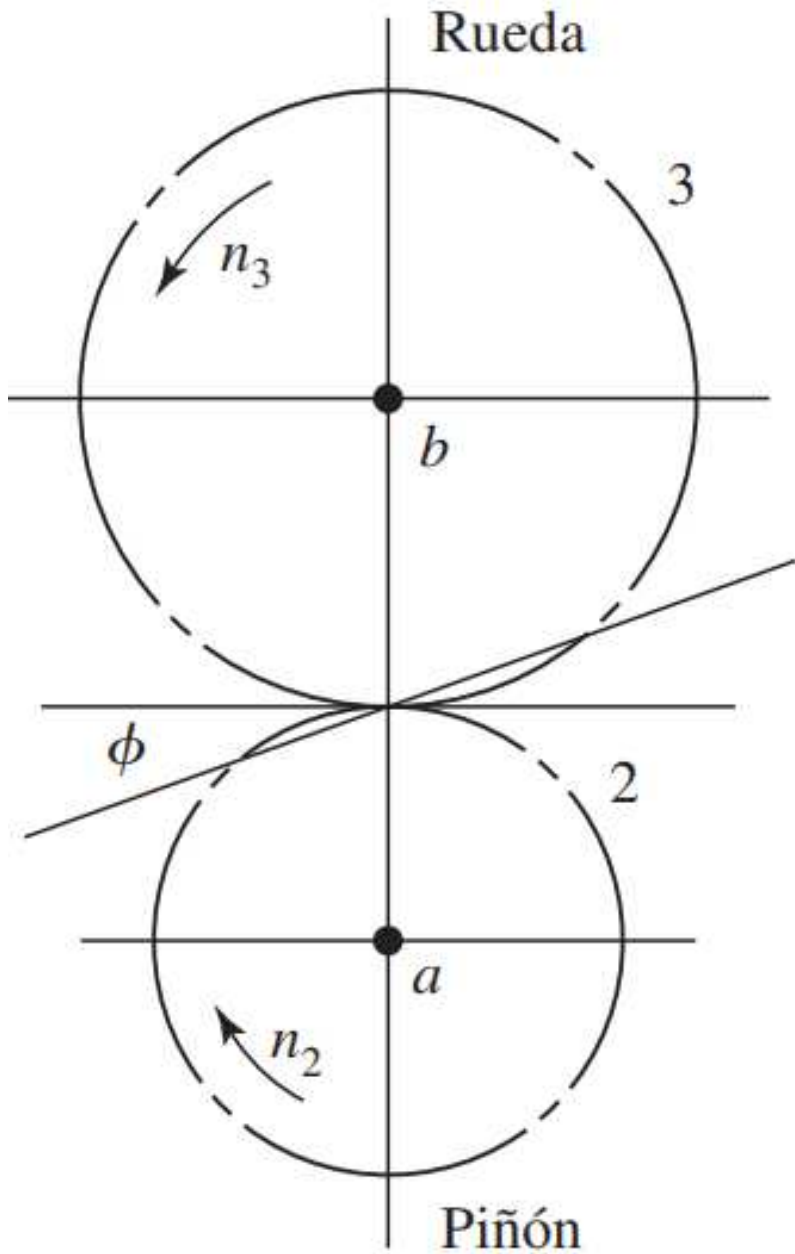
**Ruedas:** 2,3,4, etc.

**Ejes:** a,b, etc.

**Fuerzas:**  $F_{23}$ ,  $F_{a2}$

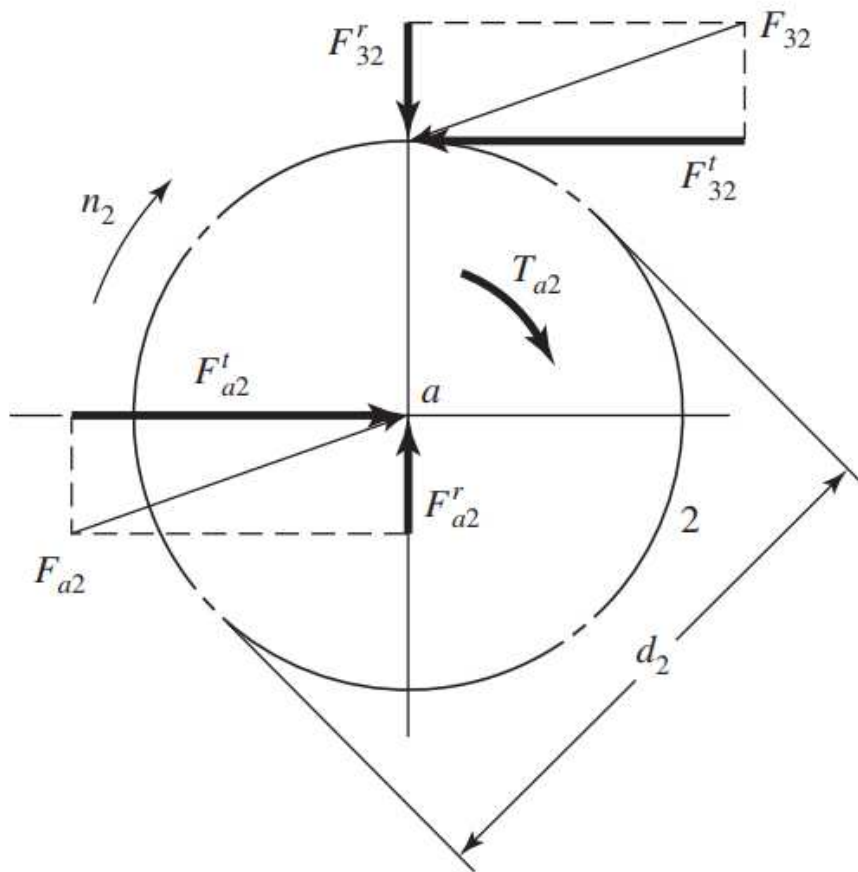
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Análisis de Fuerzas Par de Dientes Embonados



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Análisis de Fuerzas Par de Dientes Embonados



$$W_t = F_{32}^t \text{ (Carga Transmitida)}$$

$$T = \frac{d}{2} W_t \text{ (Par de Torsión)}$$

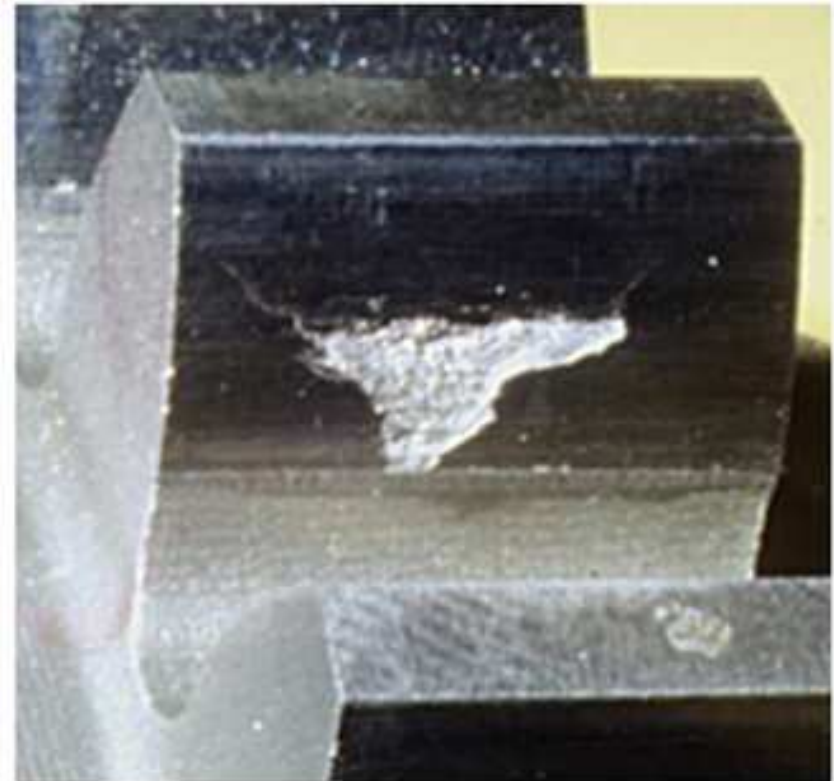
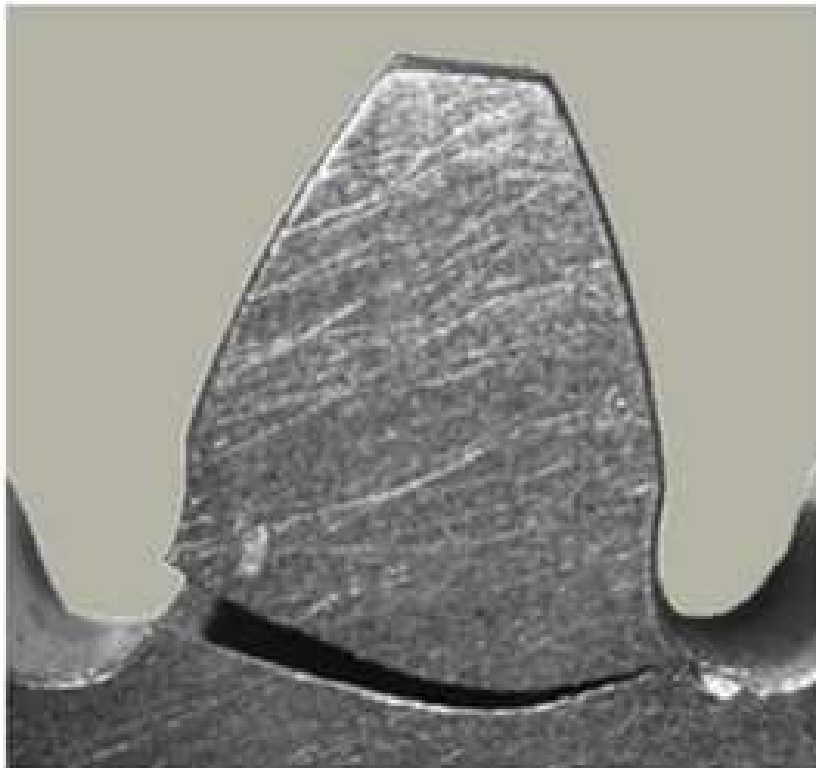
$$H = T \omega = (W_t d / 2) \omega \quad (13-33)$$

$$W_t = \frac{60\,000 H}{\pi d n} \quad (13-36)$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

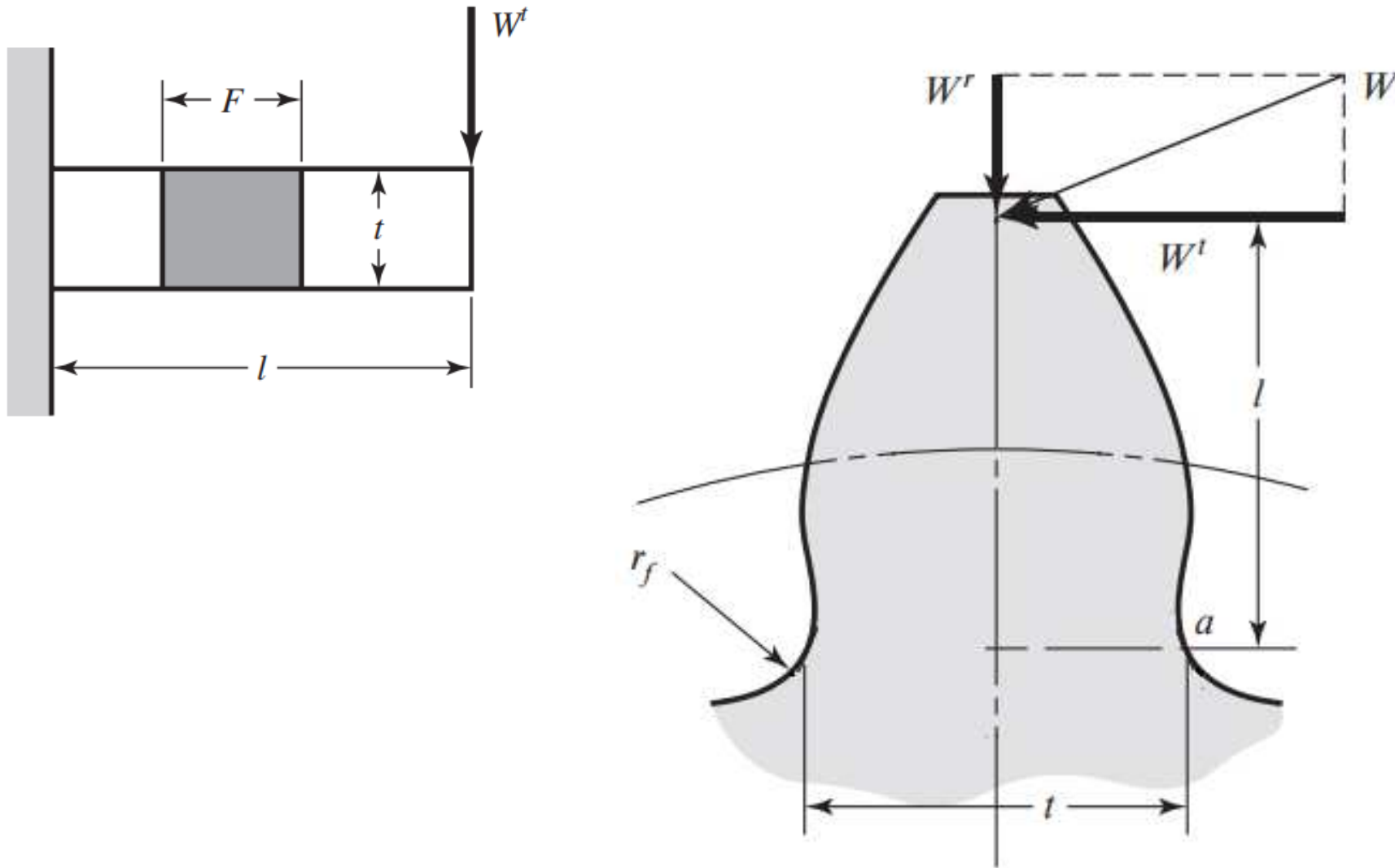
## Fallas en Ruedas Dentadas

La **falla por flexión** ocurrirá cuando el esfuerzo significativo del diente es igual o excede la resistencia a la fluencia o el límite de resistencia a la fatiga por flexión. Una **falla superficial** ocurre cuando el esfuerzo significativo de contacto es igual o excede el límite de resistencia a la fatiga de la superficie.



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## **Ecuación de Flexión de Lewis**

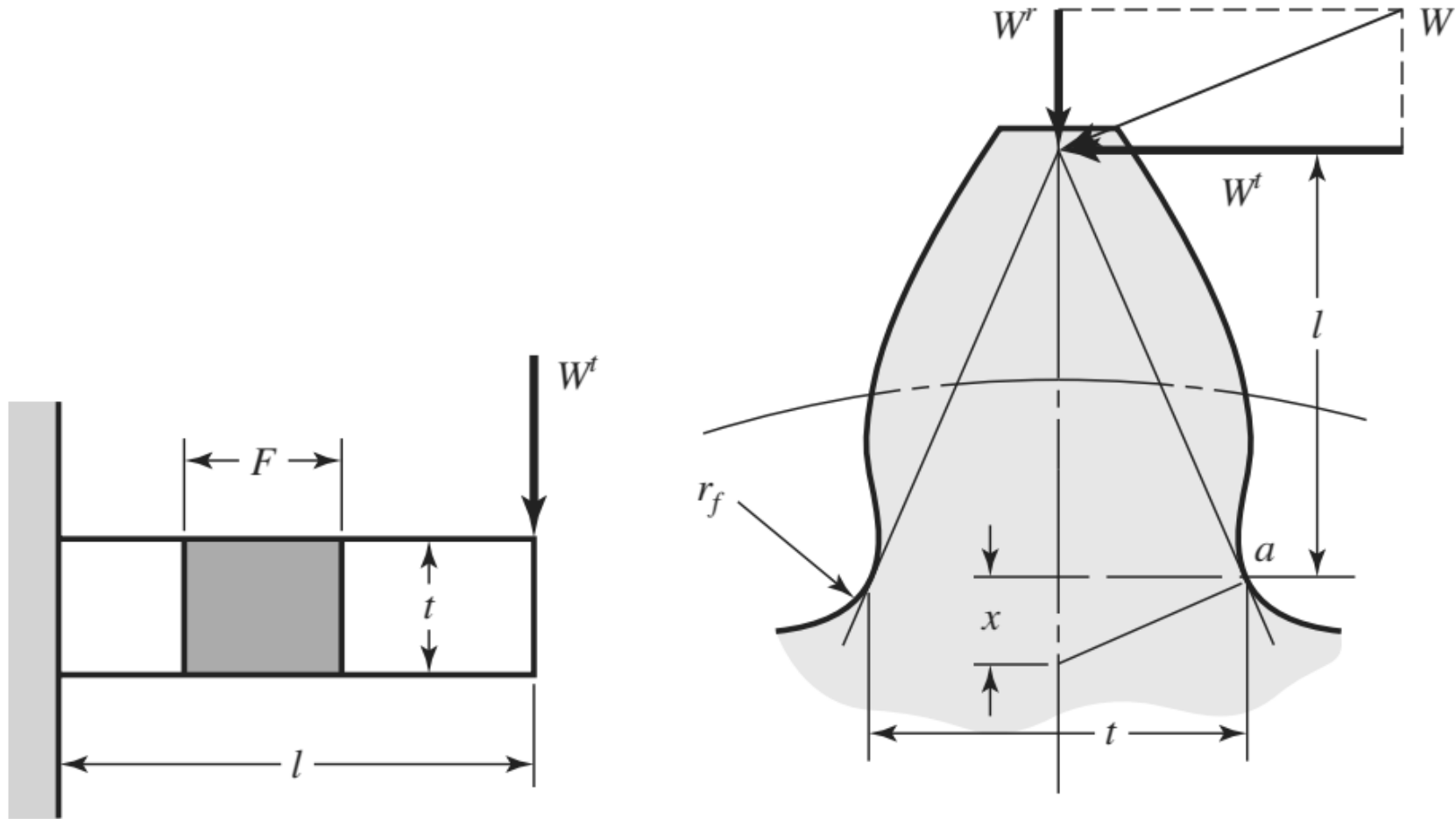
Ecuación para estimar el esfuerzo de flexión en dientes de engranes en la que interviene la forma de los mismos.

Suposiciones:

- El diente se comporta como una viga en voladizo de resistencia constante.
- El efecto de cargas radiales es despreciable.
- La carga es soportada por un solo diente.
- La carga es aplicada en el extremo del diente.
- La carga está uniformemente repartida.
- No existen concentraciones de esfuerzos.
- Las fuerzas debidas a la fricción por deslizamiento en los dientes son despreciables

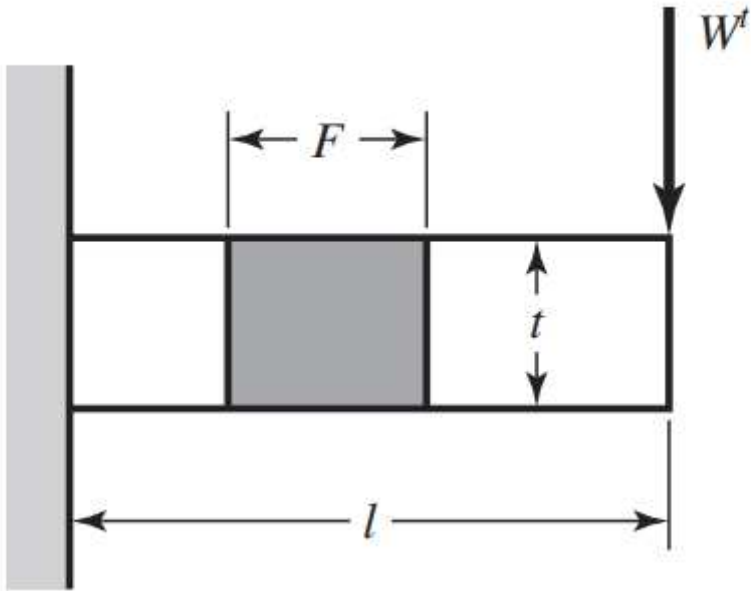
# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis



$$\sigma = \frac{M \times c}{I}$$

$$M = W_t \times l$$

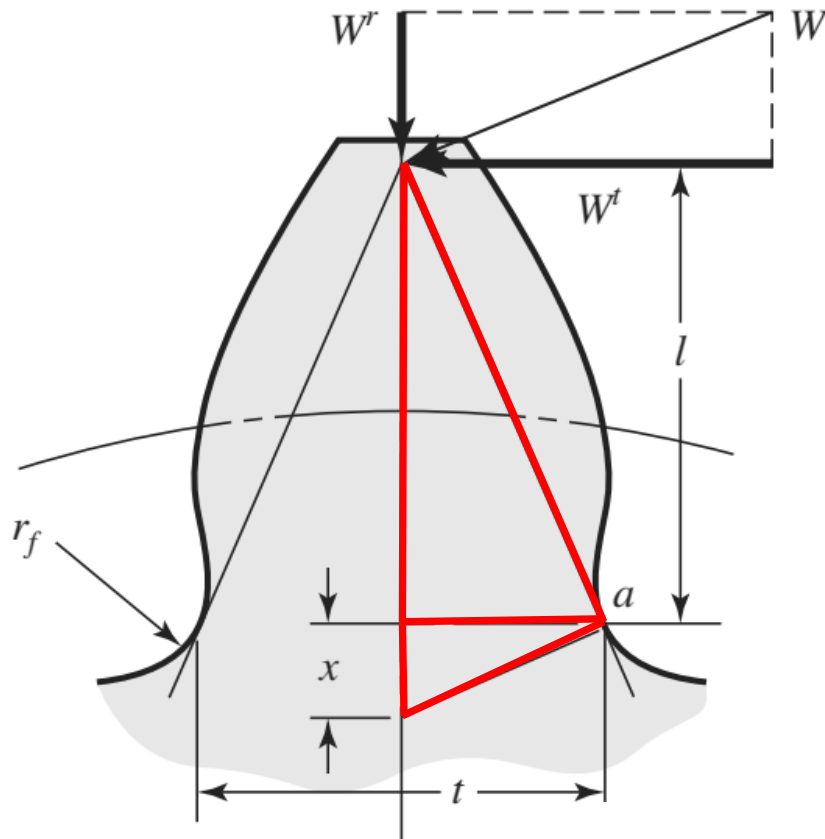
$$c = \frac{t}{2}$$

$$I = \frac{1}{12} \times F \times t^3$$

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} = \frac{W_t \times l \times \frac{t}{2}}{\frac{1}{12} \times F \times t^3} = \frac{6 \times W_t \times l}{F \times t^2}$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis



$$y = \frac{2x}{3p}$$

sustituir tanto a  $P = \pi/p$  como a  $Y = \pi y$

Factor de forma de Lewis

$$Y = \frac{2xP}{3} \quad (14-3)$$

$$\frac{t/2}{x} = \frac{l}{t/2} \rightarrow l = \frac{t^2}{4x}$$

$$\sigma = \frac{3W_t}{2Fx} \times \frac{p_c}{p_c} = \frac{W_t}{Fp_c y}$$

$$\sigma = \frac{W^t P}{FY} \quad (14-2)$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis

**Tabla 14-2**

Valores del factor de forma de Lewis  $Y$  (estos valores son para un ángulo normal de presión de  $20^\circ$ , dientes de altura completa y paso diametral igual a la unidad, en el plano de rotación)

Número de dientes	$Y$	Número de dientes	$Y$
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

$$Y = \frac{2xP}{3} \quad (14-3)$$

$$\sigma = \frac{W^t P}{FY} \quad (14-2)$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis y Efectos dinámicos

El **efecto dinámico** se refiere al **aumento de la carga efectiva** que actúa sobre los dientes de engranajes cuando están en movimiento, en comparación con la carga estática o teórica

Se produce debido a:

- Inexactitudes en el perfil de los dientes
- Error de montaje y alineación
- Velocidad de operación
- Elasticidad del sistema

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis y Efectos dinámicos

El incremento de los esfuerzos en los dientes es considerado aplicando un factor dinámico  $K_v$  en la ecuación de Lewis.

$$\sigma = \frac{K_v W^t P}{F Y} \quad (14-7)$$

$$K_v = \frac{600 + V}{600} \quad (\text{hierro fundido, perfil moldeado})$$

$$K_v = \frac{1\,200 + V}{1\,200} \quad (\text{perfil cortado o fresado})$$

$$K_v = \frac{50 + \sqrt{V}}{50} \quad (\text{perfil generado con fresa madre o cepillado})$$

$$K_v = \sqrt{\frac{78 + \sqrt{V}}{78}} \quad (\text{perfil cepillado o esmerilado})$$

$V$  es la velocidad en la línea de paso en pies por minuto

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Ecuación de Flexión de Lewis y Efectos dinámicos

El incremento de los esfuerzos en los dientes es considerado aplicando un factor dinámico  $K_v$  en la ecuación de Lewis.

$$\sigma = \frac{K_v W^t}{F m Y} \quad (14-8)$$

En unidades SI

$$K_v = \frac{3.05 + V}{3.05} \quad (\text{hierro fundido, perfil moldeado})$$

$$K_v = \frac{6.1 + V}{6.1} \quad (\text{perfil cortado o fresado})$$

$$K_v = \frac{3.56 + \sqrt{V}}{3.56} \quad (\text{perfil generado con fresa madre o cepillado})$$

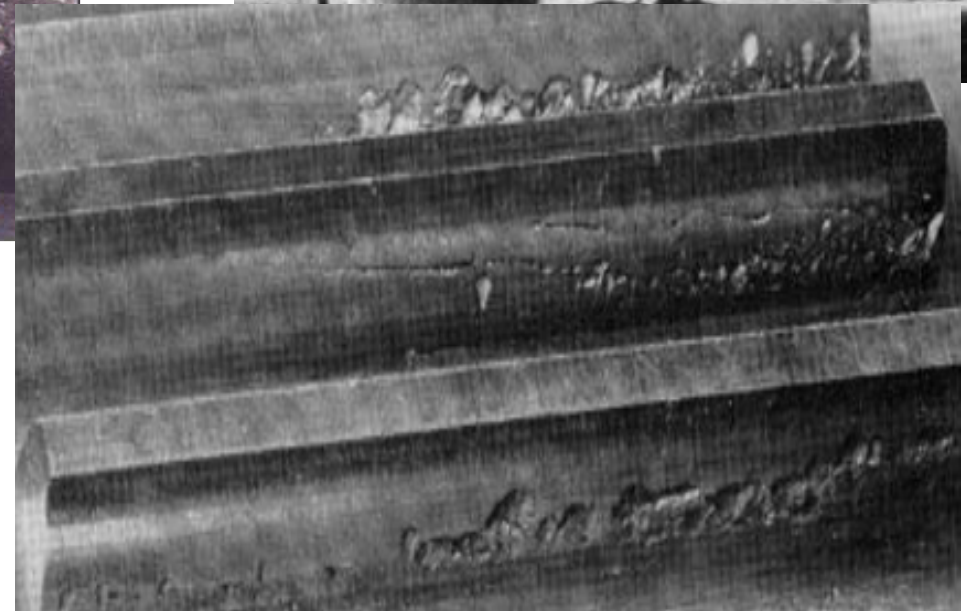
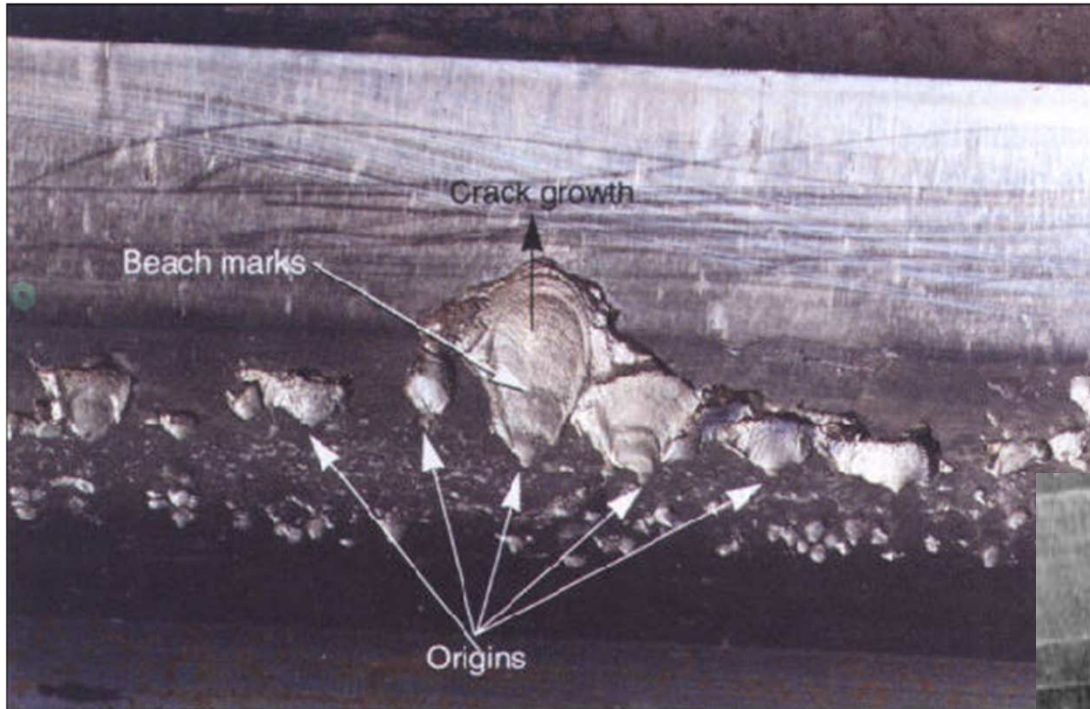
$$K_v = \sqrt{\frac{5.56 + \sqrt{V}}{5.56}} \quad (\text{perfil cepillado o esmerilado})$$

$V$  está en metros por segundo (m/s)

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Durabilidad de la Superficie

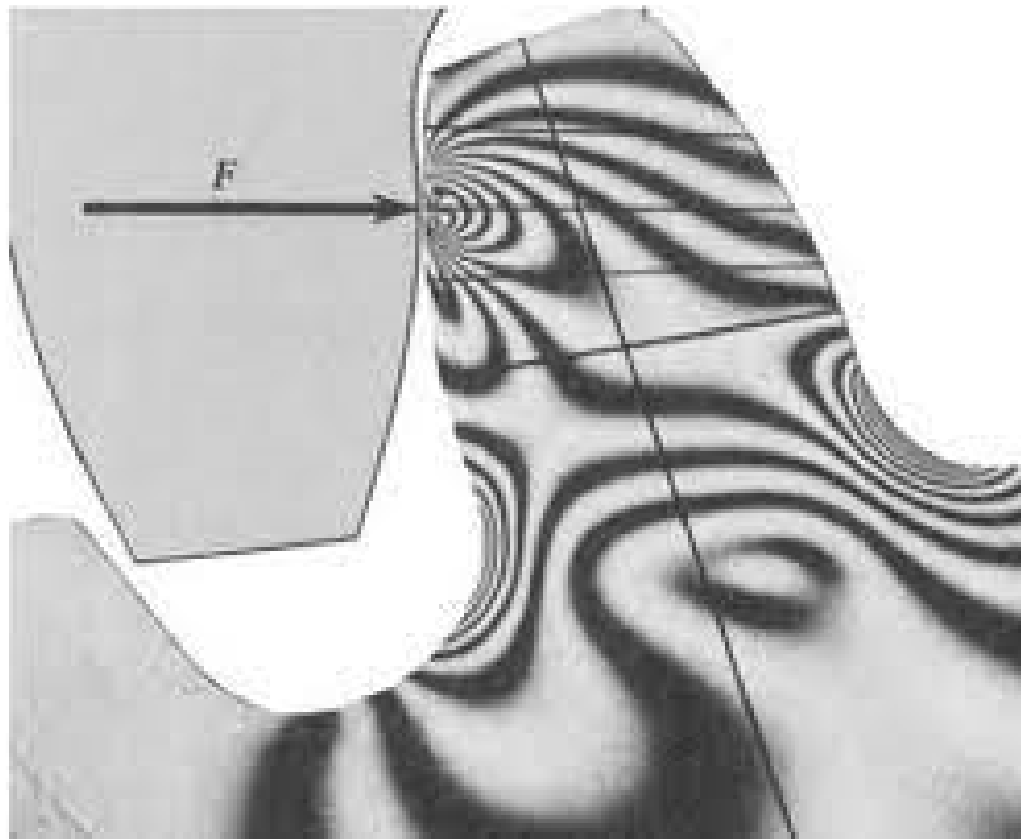
Una picadura es una falla superficial por fatiga debida a muchas repeticiones de esfuerzo de contacto elevado.



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Durabilidad de la Superficie

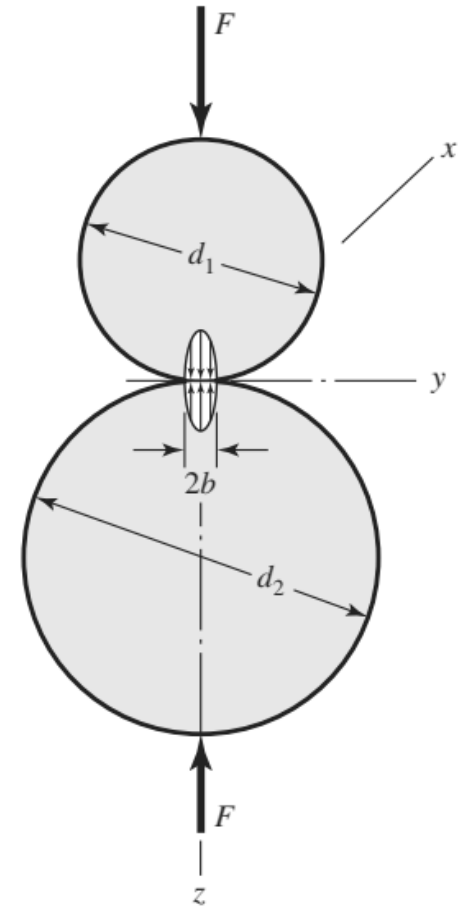
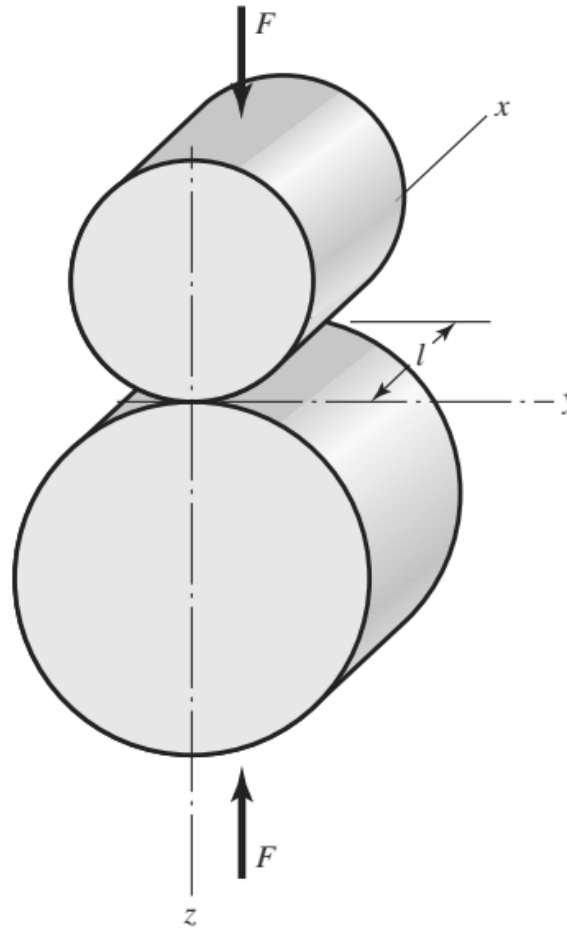
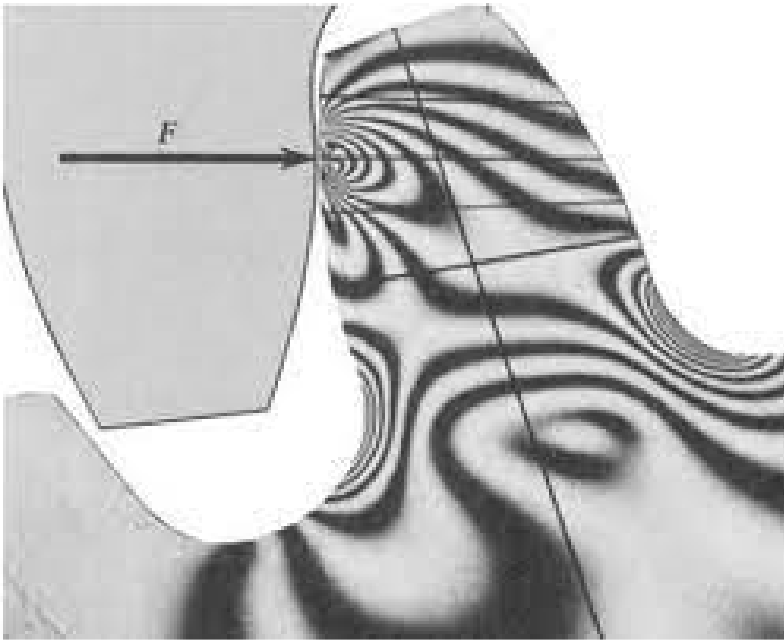
Una picadura es una falla superficial por fatiga debida a muchas repeticiones de esfuerzo de contacto elevado.



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Durabilidad de la Superficie

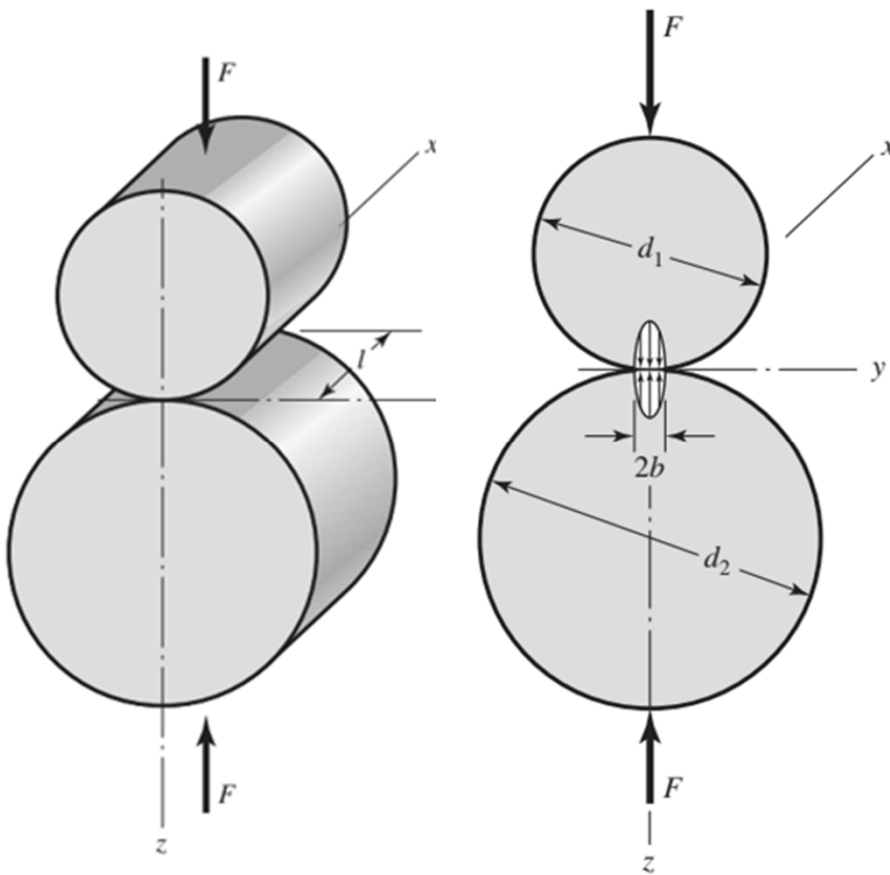
Una picadura es una falla superficial por fatiga debida a muchas repeticiones de esfuerzo de contacto elevado.



# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Durabilidad de la Superficie

Una picadura es una falla superficial por fatiga debida a muchas repeticiones de esfuerzo de contacto elevado.



$$p_{\text{máx}} = \frac{2F}{\pi b l}$$

$$b = \left\{ \frac{2F \left[ \frac{(1 - \nu_1^2)}{E_1} \right] + \left[ \frac{(1 - \nu_2^2)}{E_2} \right]}{\pi l \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \right\}^{1/2}$$

$p_{\text{máx}}$  = presión superficial máxima

$F$  = fuerza que presiona los dos cilindros

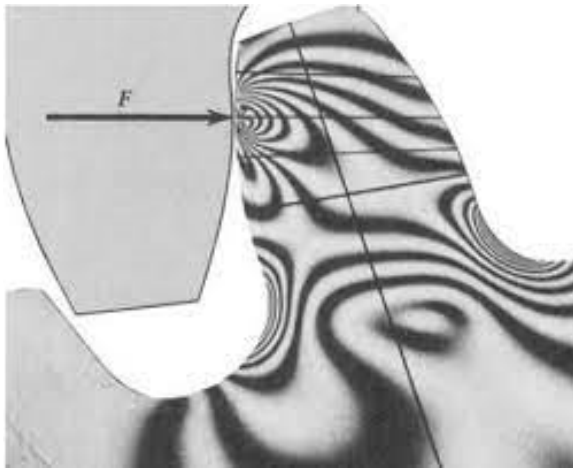
$l$  = longitud de los cilindros

$b$  = semi ancho de la zona de contacto

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Durabilidad de la Superficie

Reemplazando  $p_{\text{máx}}$  por  $\sigma_c$ , se determina el esfuerzo de compresión en la superficie (esfuerzo hertziano)



Coeficiente elástico  $C_P$

$$\sigma_c = -C_P \left[ \frac{K_v W^t}{F \cos \phi} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \right]^{1/2} \quad (14-14)$$

$$C_P = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{1 - \nu_P^2}{E_P} + \frac{1 - \nu_G^2}{E_G} \right)} \right]^{1/2} \quad (14-13)$$

$r_1$  y  $r_2$  son los valores instantáneos de los **radios de curvatura** en los perfiles de los dientes del piñón y la corona en el **punto de paso**

$$r_1 = \frac{d_P \text{ sen } \phi}{2} \quad r_2 = \frac{d_G \text{ sen } \phi}{2} \quad (14-12)$$

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Método AGMA Cálculo Flexión Engranés Rectos

**Ecuación  
Esfuerzo  
flexionante  
AGMA**

$$\sigma = W^t K_0 K'_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J}$$

**Ec. Límite de  
durabilidad  
en flexión**

$$\sigma_{perm} = \frac{S_t}{S_F} \frac{Y_N}{K_T K_R}$$

**Factor de  
seguridad  
en Flexión**

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (K_T K_R)}{\sigma}$$

$$W^t = \frac{33000H}{V}$$

$F =$  ancho de la rueda

$$V = \frac{\pi d n}{12}$$

$J =$  factor geometrico D Rectos

$P_d =$  paso diametral

$K_0 =$  Factor carga

$K'_v =$  Factor velocidad

$K_s =$  Factor Tamaño

$K_m =$  factor distribución carga

$K_B =$  factor espesor aro

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Método AGMA Cálculo Desgaste Engranajes Rectos

Ecuación del  
Esfuerzo de  
contacto  
AGMA

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_m}{d_p F} \frac{C_f}{I}}$$

Límite de  
durabilidad  
por contacto  
AGMA

$$\sigma_{c,perm} = \frac{S_c Z_N C_H}{S_H K_T K_R}$$

Factor de  
seguridad  
al desgaste

$$S_H = \frac{S_c Z_N}{\sigma_c (K_T K_R)}$$

$$W^t = \frac{33000H}{V}$$

$F$  = ancho de la rueda

$$V = \frac{\pi d n}{12}$$

$J$  = factor geométrico DRectos

$P_d$  = paso diametral

$K_o$  = Factor sobrecarga

$K_v'$  = Factor velocidad

$K_s$  = Factor Tamaño

$K_m$  = factor distribución carga

$C_p$  = coeficiente elástico

$C_f$  = coeficiente acabado superficie

$I$  = factor geométrico

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Deterioro y Falla de los Engranajes

Como todo elemento técnico el primer fallo que puede tener un engranaje es que **no haya sido calculado con los parámetros dimensionales y de resistencia adecuada**, con lo cual no es capaz de soportar el esfuerzo al que está sometido y se deteriora o rompe con rapidez.

El segundo fallo que puede tener un engranaje es que **el material** con el que ha sido fabricado **no reúne las especificaciones técnicas adecuadas** principalmente las de resistencia y tenacidad.

También puede ser causa de deterioro o rotura si el **engranaje no se ha fabricado con las cotas y tolerancias requeridas o no ha sido montado y ajustado en la forma adecuada.**

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

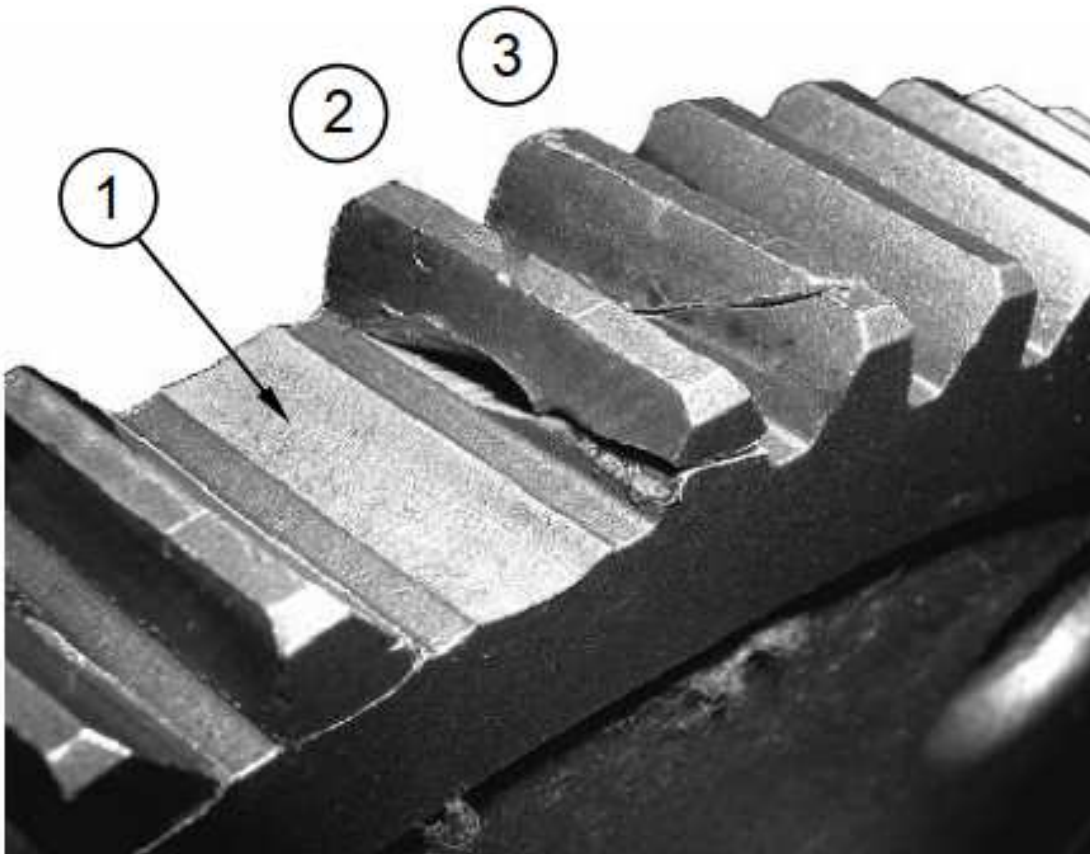
## Deterioro y Falla de los Engranajes

Igualmente se puede originar el deterioro prematuro de un engranaje al que **no se le haya efectuado el mantenimiento adecuado** con los lubricantes que le sean propios de acuerdo a las condiciones de funcionamiento que tenga.

Otra causa de deterioro es que por un **sobreesfuerzo** del mecanismo se superen los límites de resistencia del engranaje.

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

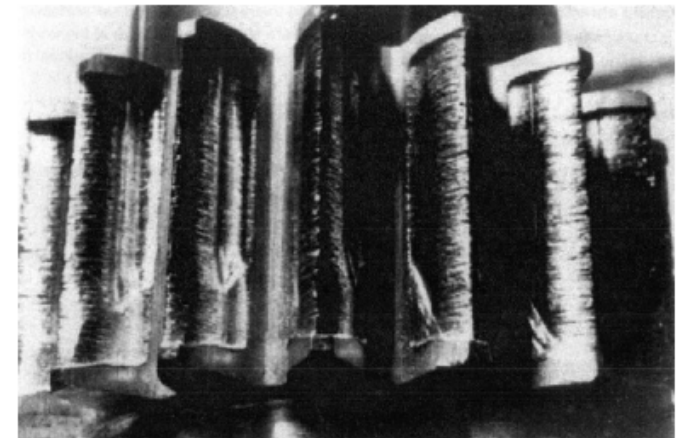
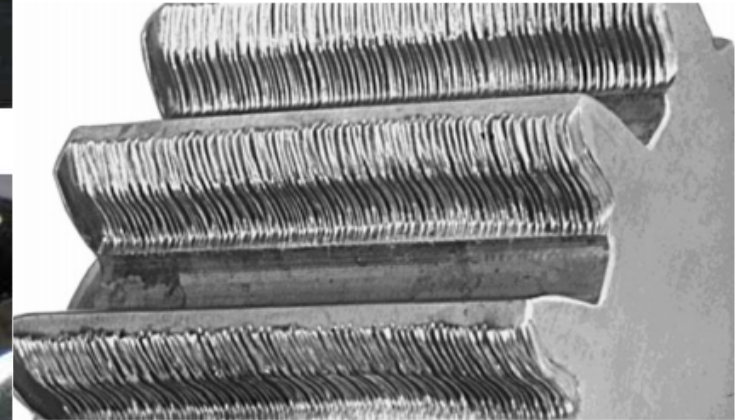
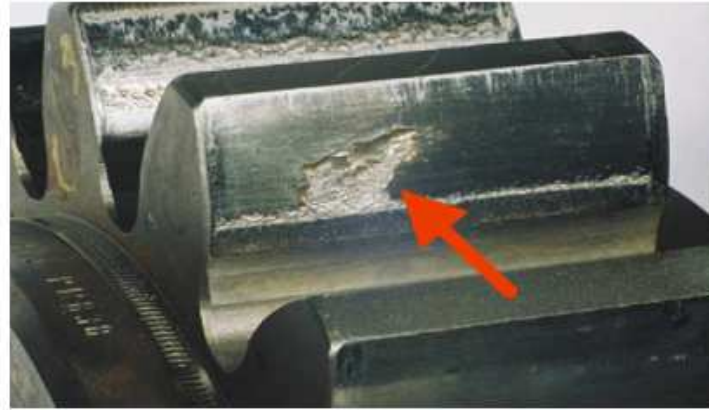
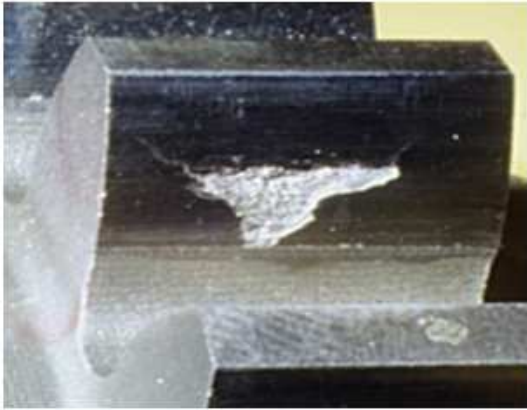
## Deterioro y Falla de los Engranajes



- ① Fractura por Fatiga a la Flexión
- ② } Fracturas por Sobrecarga
- ③ }

# Ruedas Dentadas Dientes Rectos

## Deterioro y Falla de los Engranajes



# Ruedas Dentadas

## Bibliografía

Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett.- “DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA”- Ed. Mc-Graw hill. Décima edición

SHIGLEY- MISCKE.- “DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA”- Ed. McGraw Hill.

MOTT, Robert L.- “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS”.- 4Ed. Prentice-Hall.

JUVINALL, Robert c.- “FUNDAMENTOS DE DISEÑO PARA INGENIERÍA MECÁNICA”.- Ed. LIMUSA.

Robert R Norton- “DISEÑO DE MÁQUINAS”.- 4Edición