

Ejes y árboles (cálculo aproximado)

Estabilidad

Ejes	Mód. de secc. a la flexión requerido (S_f)	Diámetro de eje macizo circular ($S_f \approx d^3/10$)	Esfuerzo permisible a la flexión ²⁾
fijos ¹⁾	$S_f = \frac{M}{\sigma_{f \text{ perm.}}}$	$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M}{\sigma_{f \text{ perm.}}}}$	$\sigma_{f \text{ perm.}} = \frac{\sigma_b \text{ Sch}}{(3 \dots 5)}$
rotatorios			$\sigma_{f \text{ perm.}} = \frac{\sigma_{\text{alt}}}{(3 \dots 5)}$

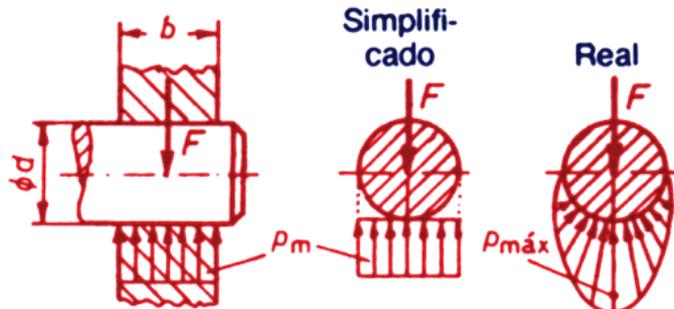
Arboles	Mód. de secc. a la torsión requerido (S_t) (polar)	Diámetro de árbol macizo ($S_t \approx d^3/5$)	Esfuerzo permisible a la tensión ²⁾
Torsión pura	$S_t = \frac{T}{\tau_{t \text{ perm.}}}$	$d = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot T}{\tau_{t \text{ perm.}}}}$	$\tau_{t \text{ perm.}} = \frac{\tau_t \text{ Sch}}{(3 \dots 5)}$
Torsión Flexión			$\tau_{t \text{ perm.}} = \frac{\tau_t \text{ Sch}}{(10 \dots 15)}$

Presión de contacto (aplastamiento) (p)

q'7

$$\text{En el muñón} \left\{ p_m = \frac{F}{d \cdot b} \leq p_{\text{perm.}}$$

(véase Z'4)



Cortante debido a carga transversal: Cálculo innecesario cuando

Para elementos de sección circular (rotatorios) $l > d/4$

Para elementos de sección rectangular (barras fijas) $l > 0.325 h$.

Deformación por flexión

véase P'5

por torsión

véase P 7 (Parte I)

Vibraciones, véase M 6 (Parte I)

¹⁾ Para las clases de carga constante (I) y pulsante (II) (véase P 1, Parte I) y perfiles simples (I, □).

²⁾ $\sigma_{f \text{ perm.}}$ y $\tau_{t \text{ perm.}}$ consideran los factores de concentración, rugosidad, tamaño, seguridad y combinación de acciones.

En $\tau_{t \text{ perm.}}$, además el momento flexionante.

l : distancia de la fuerza F

M, T : momento flexionante, momento torsionante

p_m : esfuerzo de contacto o aplastamiento (para $p_{\text{perm.}}$ véase Z'4)

$p_{\text{máx.}}$: véase q'17; para otros casos véase Z'4.

puls: condición pulsante (véase P 1, Parte I)

alt: condición alternante (véase P 1, Parte I).

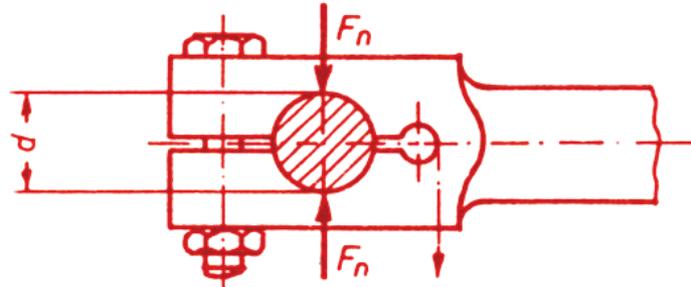
Uniones de pasador

Unión de abrazadera



q'8

$$F_n = \frac{T \cdot v}{\mu \cdot d}$$



Junta ideal sin demasiada rigidez

Unión de cono

q'9

$$\text{conicidad } 1 : x = (D - d) : l$$

Fórmula aproximada para la fuerza axial sobre la tuerca (F_A):

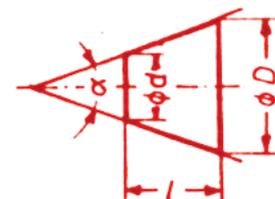
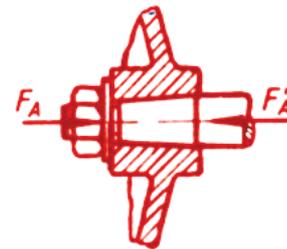


q'10

$$F_A = \frac{2 \cdot T \cdot v}{\mu \cdot d_m} \tan\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right)$$

q'11

$$d_m = \frac{D + d}{2}$$



Uniones ranuradas

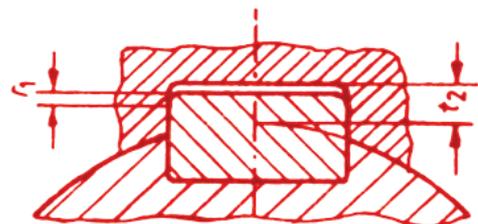
De cuña plana (cálculo aproximado)

El cálculo se basa en la presión de contacto o aplastamiento sobre la cara de la cuña (o chaveta) en el material de menor resistencia. Tomando en cuenta la curvatura del eje o árbol y el redondeo r_1 , la altura efectiva del elemento puede considerarse aproximadamente como t_e .



q'12

$$l = \frac{2 \cdot T}{d \cdot t_e \cdot \rho_{perm.}}$$



(continúa en Q'3)

(Continuación de Q'2)

De rebordes múltiples



q'13

$$l = \frac{2T}{d_m \cdot h \cdot f \cdot n \cdot \rho_{perm.}}$$

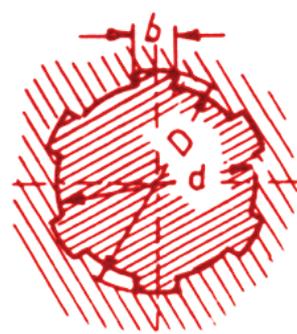
q'14

$$d_m = \frac{D + d}{2}$$

q'15

$$h = \frac{D - d}{2} - g - k \approx \frac{D - d}{2}$$

Cubo para eje



Reborde de eje



La carga no se reparte equitativamente entre las ranuras y los rebordes, de modo que hay que aplicar un factor de ajuste f :

Elemento	f
Reborde en eje	0.75
Ranura en cubo	0.9

Dimensiones del cubo

Se utiliza el diagrama de configuración de uniones ranuradas de Q'4.

Ejemplo: Determinar la longitud L y el espesor radial s de un cubo para eje que transmitirá un momento de rotación de $3000 \text{ N} \cdot \text{m}$, hecho de acero colado y con ranura para cuña plana.

1. Se elige el intervalo apropiado según el tipo de unión "long. cubo L , AC/AN: grupo e" y se siguen las líneas de "e" hasta cortar la vertical en el punto base de $3000 \text{ N} \cdot \text{m}$. Resultado: $L = (110 \dots 140 \text{ mm})$, leído en la escala de L , s .
2. Se selecciona el intervalo apropiado según el tipo de unión "esp. radial s , AC, AN: grupo l", y se siguen las líneas de "l" hasta que se logre cortar la vertical en el punto base de $3000 \text{ N} \cdot \text{m}$. Resultado: $s = (43 \dots 56) \text{ mm}$, leído en la escala de L , s .

F_n : Fuerza normal en la superficie de contacto

l : Longitud efectiva de la unión

n : Número de ranuras

μ : Coeficiente de fricción (o rozamiento) deslizante

v : Factor de seguridad

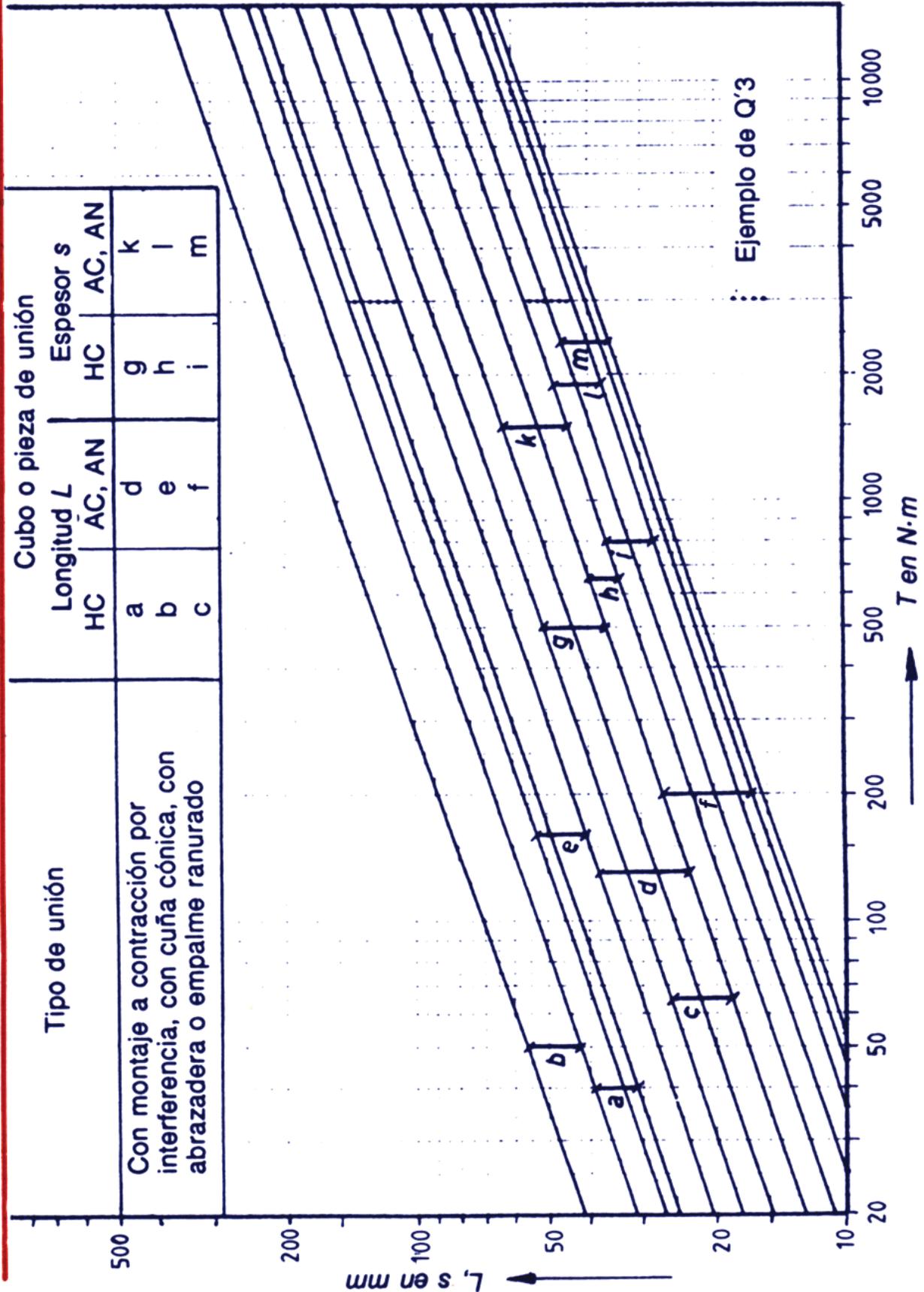
φ : Angulo de fricción ($\varphi = \tan^{-1} \mu$)

$\rho_{perm.}$: Presión de contacto (aplastamiento) permisible. Para cálculo aproximado:

Material	$\rho_{perm.}$ N/mm ²	
HC (hierro colado) (gris)	40 ... 50	} (en casos especiales, se usan valores mayores)
AC (acero colado),	90 ... 100	
AN (acero común)		

Diagrama para Q'3

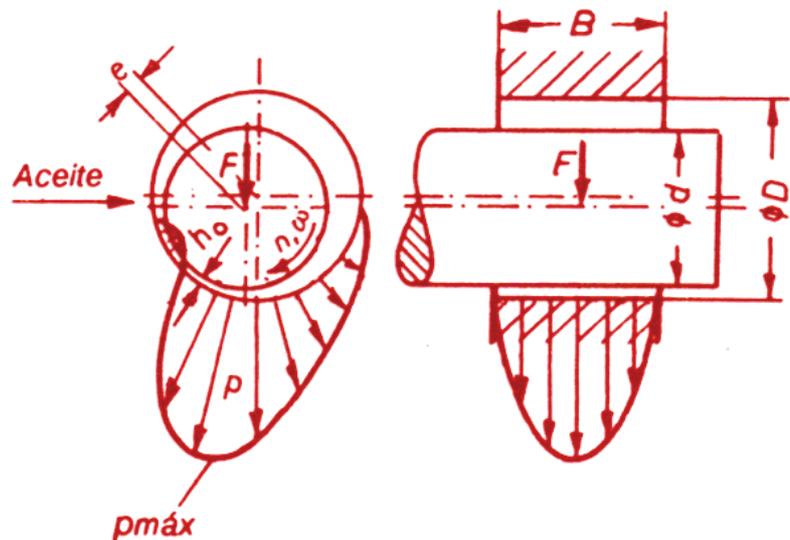
Valores empíricos para ejes o árboles hechos de aceros usuales, pero no para casos especiales (como en el caso de alta frecuencia centrífuga, etc.). La longitud L debe aumentarse en caso de otras fuerzas o momentos.



Cojinete de deslizamiento (chumacera)

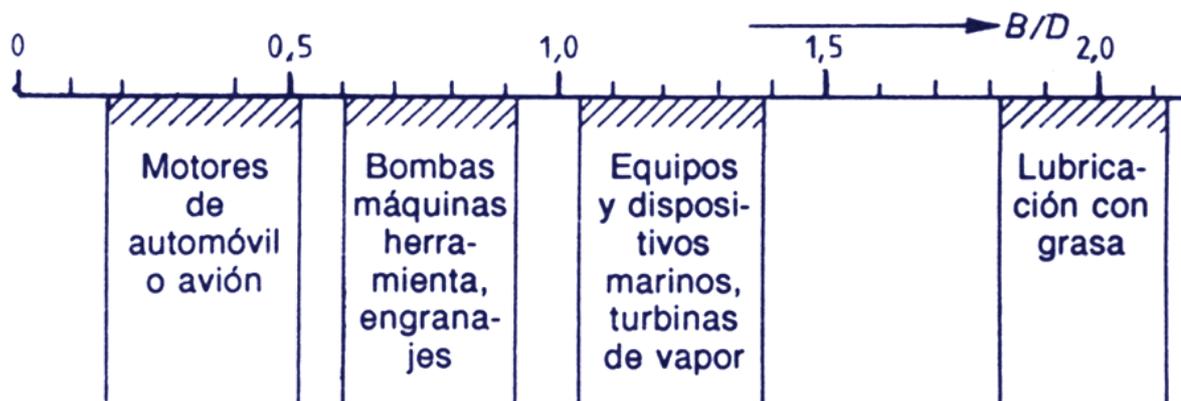
Lubricación hidrodinámica entre el muñón y el cojinete

La operación correcta es a temperaturas no excesivas y sin un desgaste notable. Es decir, con la separación permanente por película de aceite lubricante entre muñón y cojinete.



Distribución transversal y longitudinal de la presión

Relación anchura a diámetro B/D



Propiedades generales

Chumaceras cortas	Chumaceras largas
<p>Gran caída de presión en cada extremo; por tanto, enfriamiento eficaz; con flujo de aceite adecuado. Excelente para altas velocidades de rotación.</p> <p>Baja capacidad de carga con bajas velocidades rotacionales.</p>	<p>Baja caída de presión en cada extremo; por tanto, alta capacidad de carga, con velocidades de rotación no elevadas. Enfriamiento deficiente. Exceso posible de carga en bordes.</p>

(continúa en Q'6)

(Continuación de Q'5)

Presión de contacto (aplastamiento) \bar{p} , p_{\max} .

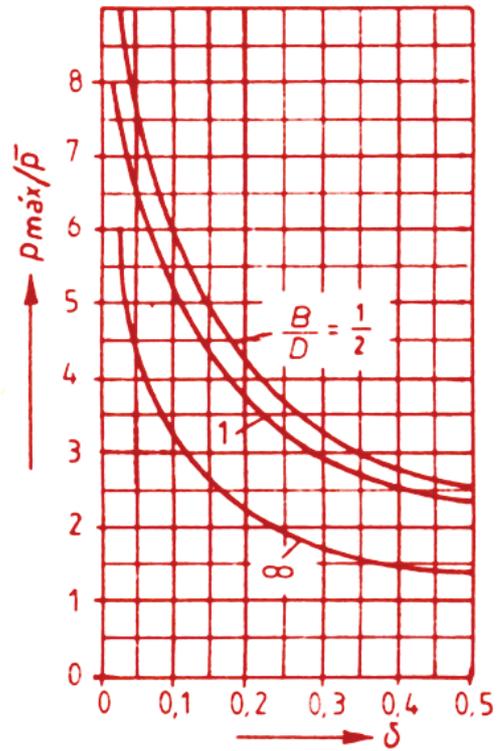
q'16

media	Pre- sión de con- tacto	$\bar{p} = \frac{F}{D \cdot B}$
máxima		

q'17

La presión máxima depende principalmente del espesor relativo de la capa de lubricante.

El diagrama muestra la razón de la presión máxima a la presión media (p_{\max}/\bar{p}) en función del espesor relativo de la película lubricante.



Holgura absoluta s y relativa ψ en la chumacera

q'18

$$s = D - d ; \quad \psi = s/D$$

ψ es básicamente la holgura que se produce durante el funcionamiento (incluyendo la dilatación térmica y la deformación elástica).

q'19

Valores típicos $\psi = (0,3 \dots 1 \dots 3) 10^{-3}$ 1)

Criterios para la selección de ψ

Características	Valor inferior	Valor superior
Material del cojinete:	suave (p. ej. metal blanco)	duro (p. ej. bronce fosforado)
Viscosidad:	relativamente baja	relativamente alta
Velocidad periférica:	relativamente baja	relativamente alta
Presión de contacto:	relativamente alta	relativamente baja
Relación ancho/diám:	$B/D \leq 0,8$	$B/D \geq 0,8$
Apoyo:	autoalineante	rígido

q'20

Valores mínimos para plásticos

$$\psi \geq (3 \dots 4) 10^{-3}$$

q'21

metales sinterizados

$$\psi \geq (1,5 \dots 2) 10^{-3}$$

q'22

1) Para chumaceras lubricadas con grasa

$$\psi = (2 \dots 3) 10^{-3}$$

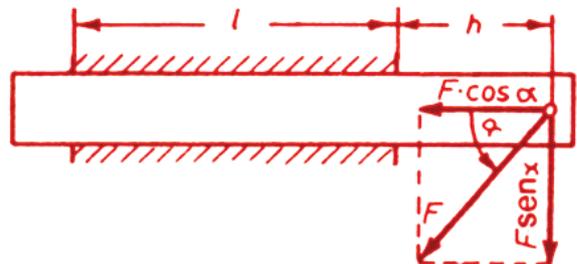
Guía para elemento deslizante

La guía funciona suavemente sólo cuando

$$\tan \alpha < \frac{l}{(2 \cdot h + l) \cdot \mu} \quad \text{o bien}$$

la siguiente relación

$$\frac{l}{h} = \lambda > \frac{2 \mu \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha}$$



Si las condiciones anteriores para $\tan \alpha$ no se satisfacen hay peligro de desviación y trabamamiento.

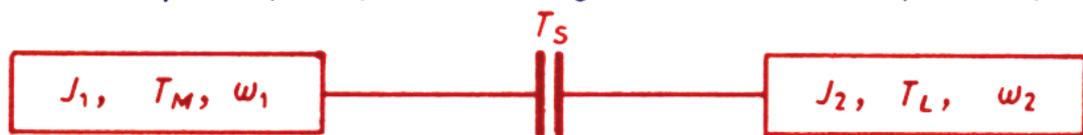
Embragues de fricción

Pérdida de energía y tiempo de deslizamiento

Elemento impulsor (motor)

Embrague

Elemento impulsado (carga)



Un modelo simplificado con las siguientes condiciones basta para un cálculo aproximado:

Aceleración del elemento impulsado de $\omega_2 = 0$ a $\omega_2 = \omega_1$.

$\omega_1 = \text{const.}$; $T_L = \text{const.}$; $T_S = \text{const.} > T_L$. Entonces

por operación:

Pérdida de energía
$$W_v = J_2 \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{T_L}{T_S - T_L} \right)$$

Tiempo de deslizamiento
$$t_r = \frac{J_2 \cdot \omega_1}{T_S - T_L}$$

Cálculo de la superficie de fricción

Embragues de placas planas			Embragues	
Una Superficie(s)	Dos Superficie(s)	Acción múltiple	cónico	cilíndrico

El número y el área de las superficies de fricción dependen de la presión de contacto permisible $p_{perm.}$ y de la capacidad térmica permisible por unidad de área (conducción de calor) $q_{perm.}$

(continúa en Q'8).

(Continuación de Q'7)

Cálculo para presión de contacto p

Para todos los tipos de superficies de fricción:

q'27



q'28

donde

$$i \cdot A \geq \frac{T_s}{p_{perm.} \cdot \mu_{din} \cdot R_m}$$

$$R_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_a^3 - R_i^3}{R_a^2 - R_i^2} \approx \frac{R_a + R_i}{2}$$

q'29

q'30

q'31

Superficies de fricción	planas	cónicas	cilíndricas
Fuerza axial	$F_a = A \cdot p$	$F_a = A p \sen \alpha$	-
	para embragues de placas múltiples	Condición $\tan \alpha > \mu_{stat}$, si no, habrá trabamiento	$R_a = R_i = R_m$
	$\frac{R_i}{R_a} = 0.6 \dots 0.8$		

Para un eje: $T_U = T_s \cdot \frac{\mu_{est}}{\mu_{din}}$

Calentamiento permisible:

Para *arranque con carga pesada* la temperatura máxima se alcanza en una operación. Depende de la pérdida de energía, tiempo de deslizamiento, calor de conducción, calor específico y enfriamiento. Estas cantidades no pueden incorporarse en una fórmula general.

En el caso de *operación continua* la temperatura constante se establece sólo después de varias operaciones. Hay valores empíricos de la conducción térmica permisible por unidad de área, $q_{perm.}$, en la operación continua.

q'32

Potencia friccional: $P_f = W_v \cdot z$

q'33

Condición: $i \cdot A \geq \frac{W_v \cdot z}{q_{perm.}}$

Significado de los símbolos en Q'9.

Frenos de fricción

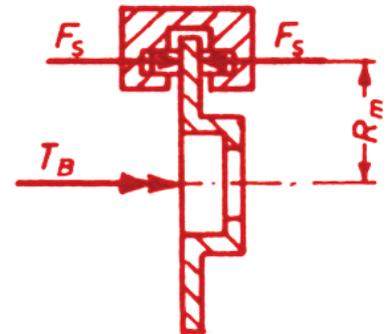
Todos los embragues de fricción pueden corresponder a frenos de acción por rozamiento. (Véase también Q'7 y Q'8)

Frenos de disco

Con elementos auxiliares.

Momento de frenado, T_B :

$$T_B = 2 \cdot \mu \cdot F_S \cdot j \cdot R_m$$



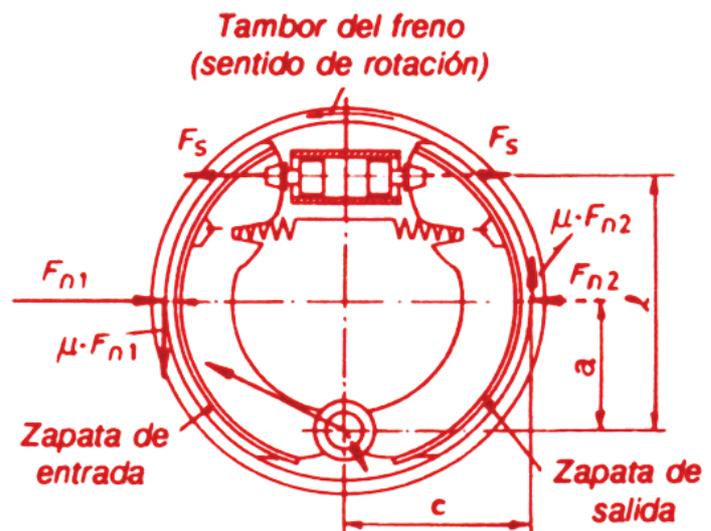
Frenos de zapatas

Se ilustra un dispositivo de acción simplex, indicando las fuerzas actuantes.

de entrada	de salida
$F_{n1} = \frac{F_S \cdot l}{a - \mu \cdot c}$	$F_{n2} = \frac{F_S \cdot l}{a + \mu \cdot c}$
(Servo-acción)	

Momento de frenado

$$T_B = (F_{n1} + F_{n2}) \cdot \mu \cdot R$$



(Para la acción de frenado de banda o cinta véase K 13, Parte I.)

Símbolos para embragues y frenos de fricción

A : Área de la superficie de fricción

T_B : Momento de frenado

T_L : Momento de la carga

T_M : Momento del motor

T_S : Momento de operación del embrague

T_{tr} : Momento de transferencia del embrague

R : Radio de la superficie de fricción

R_m, R_a, R_i : Radios medio, exterior o interior de la superficie

W_y : Pérdida de energía por operación

i : Número de superficies de fricción

j : Número de elementos para disco

z : Frecuencia de operación

$\mu, \mu_{din}, \mu_{est}$: Coeficiente de fricción, estática y dinámica

ω : Velocidad de rotación (angular)

(EU: s^{-1} ; h^{-1})

Diseño de máquinas-herramienta: Consideraciones generales.

Las componentes de máquinas que estarán sometidos a esfuerzos (elementos con superficies guías, piezas deslizantes, correderas husillos con cojinetes) se diseñan de modo que conserven una elevada exactitud o ajuste durante largo tiempo. Cuentan con amplias áreas de contacto o apoyo y son necesarios dispositivos para reemplazar las superficies desgastadas. La deformación máxima permisible en el filo o borde cortante (punta de formación de la viruta) es de aproximadamente 0.03 mm. La fórmula r'4 da la fuerza de corte.

Están disponibles elementos impulsores con velocidad de corte $v = \text{const.}$ en todo el alcance de trabajo (diámetros máximo y mínimo de la herramienta o de la pieza) con velocidades de rotación (en rpm, r/min), en una gama que va en progresión geométrica:



r'1

$$n_k = n_1 \rho^{k-1}$$

La razón progresiva ρ para las velocidades de rotación $n_1 \dots n_k$, para k velocidades se evalúa por



r'2

$$\rho = \sqrt[k-1]{\frac{n_k}{n_1}}$$

Valores de ρ estandarizados: 1.12, 1.25, 1.4, 1.6, 2.0.

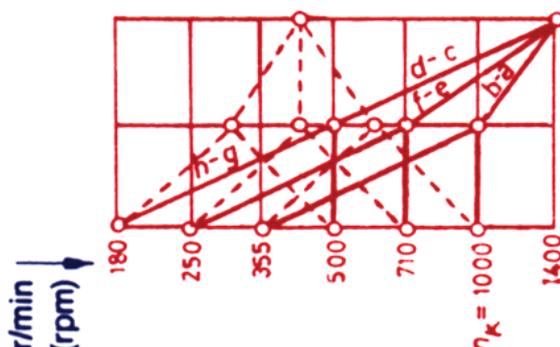
Serie básica R_{20} de velocidades con $\rho = \sqrt[20]{10} = 1.12$:

100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 550, 630, 710, 800, 900, 1000, ... r/min.

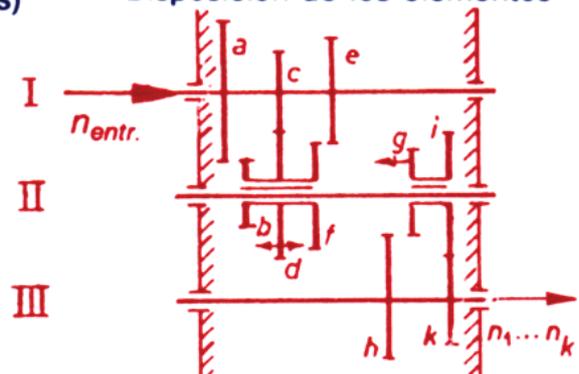
Dispositivos de corte: Se designan por el número de ejes y las velocidades de salida.

Ejemplo: Un equipo III/6 tiene 3 ejes y 6 velocidades. Se ilustra como sigue (para $k = 6$, $\rho = 1.4$, $n_1 = 180$, $n_k = 1000$).

--- Diagrama de escalas (simétricas)
 — Diagrama de velocidades



Disposición de los elementos



Los símbolos se explican en R'5.

Manufactura y procesos

Maquinado y herramienta

R'2

Potencia y fuerza de corte:

Potencia de corte

$P_c =$

General

Taladrado

$$\frac{F_c \cdot v}{\eta_{mec} \cdot \eta_{elec}}$$

$$\frac{F_c (D + d) \pi \cdot n}{2 \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_{elec}}$$

Fuerza de corte

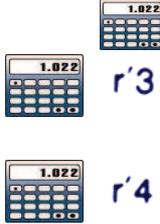
$F_c =$

$$K \cdot k_{c1.1} \cdot b \left(\frac{h}{mm} \right)^{1-mc} \text{ mm} \cdot z_e$$

Tabla de valores de K , b , h , z_e (para $k_{c1.1}$; $1 - mc$, véase Z'3)

No. Operación	Croquis	$K =$	$b =$	$h =$	$z_e =$	Observaciones
r'5		1 HM + HSS	$\frac{a}{\sin \theta}$	$s \cdot \sin \theta$	1	
r'6	analoga a r'5	1.2				
r'7		1.1 HM 1.2 HSS		$s_z \cdot \sin \frac{\sigma}{2}$ $s_z = 0.5 s$	(para broca espiral)	$d = 0$ (en taladrado) $\sigma = 118^\circ$ (para acero)
r'8		0.85 HM 1 HSS	$\frac{D-d}{2 \sin \frac{\sigma}{2}}$			$\cos \varphi_s = \frac{1 - 2a/D}{\varphi_s z_s / 360^\circ}$
r'9		1.1 HM 1.2 HSS	B	$\frac{2a}{D} s_z$		$\cos \varphi_2 = \frac{2B_2}{D}$ φ_1 y φ_2 se calculan en el sentido de rotación
r'10			$\frac{a}{\sin \theta}$	$(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \cdot \frac{1}{\varphi_s} s_z \cdot \sin \theta$		

Los símbolos se explican en R'5.



Manufactura y procesos

Maquinado y herramienta

R'3

No.	Operación	Croquis	K =	b =	h =	z _e =	Observaciones
r' 11	Rectificado plano				$\frac{l_k \cdot u}{u} \sqrt{\frac{a}{D}}$		(cos $\varphi_s = 1 - 2a/D$)
r' 12	Rectificado redondo		Tab. 1	b _w	$\frac{l_k \cdot u}{u} \sqrt{a \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d_w} \right)}$ + exterior - interior	$\frac{D \varphi_s}{2 l_k}$	$\varphi_s = \sqrt{\frac{4a}{D(1 \pm D/d_w)}}$ + exterior - interior
r' 13	Acción de corte (redondo)				$(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \cdot \frac{1}{\varphi_s} \cdot \frac{l_k \cdot u}{v}$		El ángulo φ_s según r'10
r' 14	Rectificado de extremo			a			

h en mm	Factor de corrección			
	0.001	0.002	0.003	0.004
40	5.1	4.3	4.0	3.6
60	4.5	3.9	3.5	3.2
80	4.0	3.6	3.2	3.0
120	3.4	3.0	2.8	2.5
150	3.2	2.8	2.6	2.3
180	3.0	2.6	2.4	2.2

a en mm	Desbastado		Alisado	
	0.01	0.02	0.03	0.04
40	24	14	9	9
60	32	23	15	15
80	40	31	24	24
120	53	44	37	37
150	56	48	40	45
180	58	50	42	58

h en mm	Factor de corrección			
	0.001	0.002	0.003	0.004
40	5.1	4.3	4.0	3.6
60	4.5	3.9	3.5	3.2
80	4.0	3.6	3.2	3.0
120	3.4	3.0	2.8	2.5
150	3.2	2.8	2.6	2.3
180	3.0	2.6	2.4	2.2

h en mm	Factor de corrección			
	0.001	0.002	0.003	0.004
40	5.1	4.3	4.0	3.6
60	4.5	3.9	3.5	3.2
80	4.0	3.6	3.2	3.0
120	3.4	3.0	2.8	2.5
150	3.2	2.8	2.6	2.3
180	3.0	2.6	2.4	2.2

Los símbolos se explican en R'5.



Manufactura y procesos R'4

Maquinado y herramienta

Impulsión

Valores en progresión geométrica con

$$\varphi = 1.12 - 1.25 - 1.4 - 1.6 - 2.0.$$

Avances (alimentaciones)

	Operación	Velocidad de avance	Observaciones
r'15	Torneado (long., exterior e interior)	$u = n \cdot s$	
r'16	Taladrado	$u = n \cdot s_z \cdot z_s$	Para brocas espirales $z_e = z_s = 2$ $s_z = 0.5 s$
r'17	Cepillado (común y de mesa)	$u = v$	
r'18	Fresado, plano y de extremo	$u = s_z \cdot n \cdot z_s$	

Tiempos de corte t_c

$$r'19 \quad t_c = \frac{l_1}{u}; \quad \text{donde} \quad l_1 = l + l'$$

Al calcular los tiempos de ciclo y maquinado para cada pieza trabajada, deben considerarse los movimientos de avance o alimentación y los recorridos libres (o un corte), divididos entre las velocidades correspondientes.

Potencia y fuerza de avance



$$r'20 \quad \text{Potencia de avance} \quad P_V = \frac{u(F_R + F_V)}{\eta_{mec} \cdot \eta_{eléc}}$$

$$r'21 \quad \text{Fuerza de avance} \quad F_V \approx 0.2 F_C; \quad (F_C \text{ según } r'4)$$

$$r'22 \quad \text{Rozamiento (fricción)} \quad F_R = m_b \cdot g \cdot \mu$$

donde m_b es la masa de la pieza en movimiento; por ejemplo, en el caso de fresadoras, la suma de las masas de la pieza y de la mesa.

Hay que determinar si la potencia calculada con r'20 es suficiente para acelerar las partes móviles hasta la velocidad de movimiento rápido u_M , dentro de un tiempo dado t_b , (en las máquinas de producción $u_M \approx 0.2 \text{ m/s}$). De esta manera, se explica lo siguiente.



$$r'23 \quad P_V = u_M m_b \left(\mu g + \frac{u_M}{t_b} \right) \frac{1}{\eta_{mec} \cdot \eta_{eléc}}$$

Los símbolos se explican en R'5.

Explicación de la simbología

(R'1 a R'4)

a : profundidad	l_K : distancia de grano efectiva, según la Tabla 2
b : ancho de viruta	M_C : momento de la fuerza de corte
b_w : ancho efectivo	n : velocidad de rotación (r/min)
desbastado $b_w = B_S/1,4$	n_1 : velocidad mínima de salida
alisado $b_w = B_S/3$	n_2 : velocidad máxima de salida
B : ancho de fresado	P_C : potencia de corte
B_1, B_2 : ancho de fresado medido desde el centro de la herramienta	P_V : potencia de avance (alimentación)
B_S : ancho del disco	s : avance
d : diámetro del barreno	s_z : avance por filo
d_w : diámetro de la pieza, exterior o interior	t_b : tiempo de aceleración
D : diámetro de la herramienta	t_c : tiempo de corte
F_R : rozamiento (o fricción)	u : velocidad de avance
F_C : fuerza de corte	u_M : velocidad de avance alta (movimiento rápido)
F_V : fuerza de avance	v : velocidad de corte
g : aceleración debida a la gravedad	z_e : número de filos en acción
h : grosor de la viruta	ϵ_s : relación de esbeltez ($= a/s$)
k : número de velocidades de salida	$\eta_{eléc}$: eficiencia eléctrica
$k_{C1.1}$: fuerza de corte básica en relación con el área	η_{mec} : eficiencia mecánica
K : factor de la operación (de maquinado)	θ : posición angular (ángulo de presentación)
l : recorrido de corte	μ : coeficiente de rozamiento (fricción)
l_1 : recorrido de la pieza	σ : ángulo en la punta de la broca
l' : sobrerrecorrido en uno u otro extremos con velocidad de avance u	ρ : razón progresiva
z_s : número de filos o bordes cortantes por herramienta	ϕ_s : ángulo de ataque (en fresado o rectificado)
	HM : punta de carburo
	HSS : punta de acero rápida

Manufactura y procesos | R'6

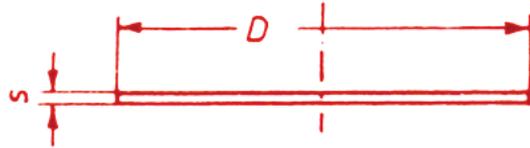
Embutido y herramienta

Labrado de lámina en frío – Embutido profundo

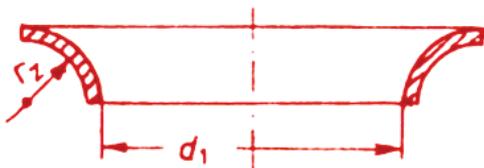
Diámetro inicial de la pieza base

r'24

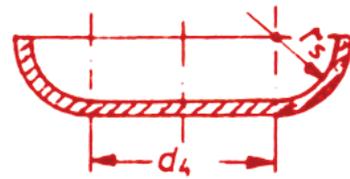
$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \Sigma A_{mi}}$$



A_{mi} son las áreas superficiales de las piezas terminadas que pueden determinarse con las fórmulas de las secciones B y C (Parte I): b 30, c 12, c 16, c 21, c 25, c 27 y c 30. Las áreas según los radios de transición para las operaciones de embutido y estampado se calculan como sigue:



$$A_m = \frac{\pi}{4} \left[2\pi d_1 r_2 + 4(\pi - 2)r_2^2 \right]$$

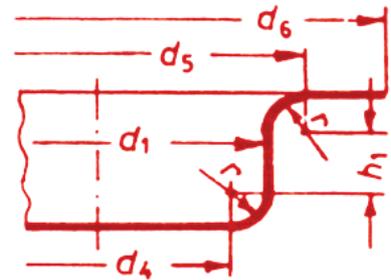


$$A_m = \frac{\pi}{4} (2\pi d_4 + 8r_5)r_5 + \frac{\pi}{4} d_4^2$$

Ejemplo (Considérese que $r_s = r_z = r$)

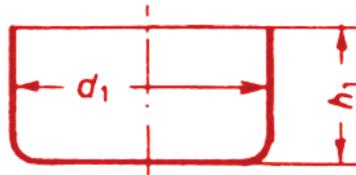
r'26

$$D = \sqrt{d_4^2 + d_6^2 - d_5^2 + 4d_1 h + 2\pi r(d_1 + d_4) + 4\pi r^2}$$

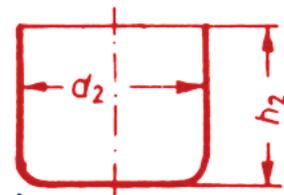


Primera y segunda etapas

1er. paso



2o. paso



r'27

$$\beta_1 = \frac{D}{d_1}$$

$$\beta_2 = \frac{d_1}{d_2}$$

r'28

$$\beta_{1\text{máx}} = \beta_{100} + 0,1 - \left(\frac{d_1}{s} \cdot 0,001 \right)$$

$$\beta_{2\text{máx}} = \beta_{100} + 0,1 - \left(\frac{d_2}{s} \cdot 0,001 \right)$$

r'29

$$F_{z1} = \pi d_1 s k_{fm1} \varphi_1 \frac{1}{\eta_{F1}}$$

$$F_{z2} = \frac{F_{z1}}{2} + \pi d_2 s k_{fm2} \varphi_2 \frac{1}{\eta_{F2}}$$

r'30

$$\varphi_1 = \left| \ln \sqrt{0,6 \beta_1^2 - 0,4} \right|$$

$$\varphi_2 = \left| \ln \sqrt{0,6 \beta_2^2 - 0,4} \right|$$

r'31

$$k_{fm1} = \frac{w}{\varphi_1}$$

Sin

reco-
cido
inter-
medio

$$k_{fm2} = \frac{k_{f1} + k_{f2}}{2}$$

Con

$$k_{fm2} = \frac{w}{\varphi_2}$$

r'32

r'33

(Continúa en R'7)

(Continuación de R'6)

El trabajo específico de deformación (referido a la unidad de volumen) y la resistencia (o esfuerzo) de fluencia k_f se obtiene a partir de las curvas de deformación para el valor apropiado de la relación de deformación logarítmica δ .

Fuerzas de sujeción de la pieza base F_{N1} y F_{N2}



r'34

1er. Paso	2o. paso
$F_{N1} = (D^2 - d_1^2) \frac{\pi}{4} \frac{R_m}{400} \left[(\beta_1 - 1)^2 + \frac{d_1}{s} \right]$	$F_{N2} = (d_1^2 - d_2^2) \frac{\pi}{4} \frac{R_m}{400} \left[(\beta_2 - 1)^2 + \frac{d_2}{s} \right]$



r'35

El desgarre en el fondo ocurre si

$$R_m = \frac{F_{Z1} + 0.1 F_{N1}}{\pi d_1 s}$$

$$R_m = \frac{F_{Z2} + 0.1 F_{N2}}{\pi d_2 s}$$

r'36

Condiciones máximas de embutido, β y R_m

Material	β_{100}	Con recocido $\beta_{2\text{máx}}$	Sin recocido intermedio $\beta_{2\text{máx}}$	R_m N/mm ²
Aceros:				
St 10	1.7	1.2	1.5	390
USt 12	1.8	1.2	1.6	360
USt 13	1.9	1.25	1.65	350
USt 14	2.0	1.3	1.7	340
St 37	1.7	—	—	410
Acero inox. (18% Cr, 9% Ni)	2.0	1.2	1.8	600
Al Mg Si (suave)	2.05	1.4	1.9	150

Explicación de la simbología (R'6, R'7)

A_{ml} : área de la superficie

F_{Z1} , F_{Z2} : fuerzas de embutición, 1er. y 2o. pasos.

k_{fm1} : resistencia de fluencia media, 1er. paso

k_{fm2} : resistencia de fluencia media, 2o. paso

K_{k1} , F_{f2} : resistencia de fluencia según δ_1 y δ_2

r : radio

r_s : radio del dado de estampado

r_z : radio del dado de embutido

w : trab. de deformación específico = $\frac{\text{trab. de deformación}}{\text{vol. del elem. deformado}}$

β_1 , β_2 : relaciones de embutición, 1er. y 2o. pasos

β_{100} : máximas relaciones de embutición para $s = 1$ mm y $d = 100$ mm

$\beta_{1\text{máx}}$, $\beta_{2\text{máx}}$: máximas relaciones de embutición, 1er. y 2o. pasos

η_{F1} , η_{F2} : eficacias del proceso de deformación, 1er. y 2o. pasos.

δ_1 , δ_2 : relaciones de deformación logarítmicas, 1er. y 2o. pasos

Manufactura y procesos

Extrusión

R'8

Extrusión (empuje de conformado en matriz)

r'37 Fuerza de extrusión

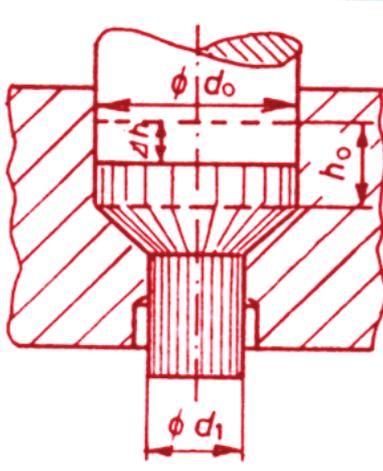
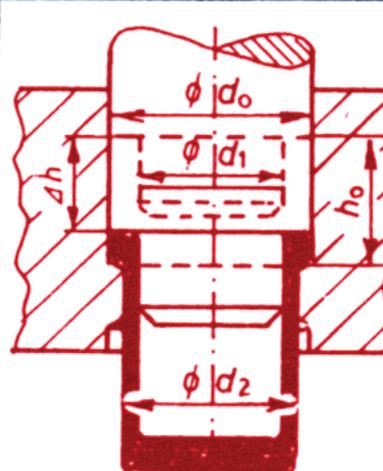
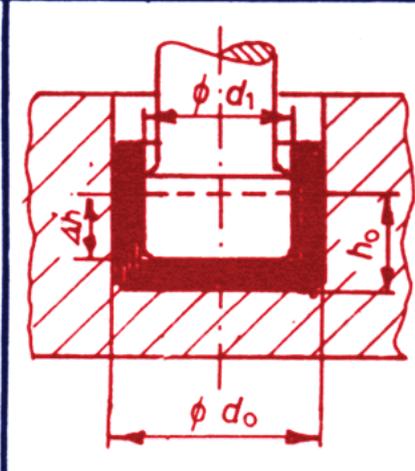
$$F = A \cdot k_{fm} \varphi_A \frac{1}{\eta_F}$$

r'38 Trabajo de extrusión

$$W = V \cdot k_{fm} \varphi_A \frac{1}{\eta_F}$$

r'39 Resistencia de fluencia media

$$k_{fm} = \frac{W}{\varphi_A}$$

	Extrusión directa		Extrusión inversa
	Cuerpo sólido	Cuerpo hueco	
			
r'40	$A = \frac{\pi}{4} d_0^2$	$A = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2)$	$A = \frac{\pi}{4} d_0^2$
r'41	$\varphi_A = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2}$	$\varphi_A = \ln \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_2^2 - d_1^2}$	$\varphi_A = \ln \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_1^2}$
r'42	$V = \frac{\pi}{4} h_0 \cdot d_0^2$	$V = \frac{\pi}{4} h_0 (d_0^2 - d_1^2)$	$V = \frac{\pi}{4} d_0^2 \cdot h_0$
r'43	$\eta_F = 0.7 \dots 0.8$	$\eta_F = 0.6 \dots 0.7$	$\eta_F = 0.5 \dots 0.6$

Relación de deformación logarítmica máxima $\delta_{A \text{ máx}}$

Material \ Extrusión	Aceros					baja aleación	aleación
	Al99.5	AlMgSi suave	C<0.1%	C<0.15%	C>0.15%		
directa	3.9	3.0	1.4	1.2	0.9	0.8	0.7
inversa	4.5	4.0	1.2	1.1	1.1	0.95	0.8

A : área utilizada

δ_A : relación de deformación logarítmica

η_F : eficacia del proceso de deformación

V : volumen del elemento deformado

w : trabajo de deformación específico (por unidad de volumen)

Δh : penetración (carrera del empujador)