



Apuntes y tablas

Tecnología Mecánica

Año: 2023

- Docentes: Martín A. Alarcón  
Fernando Nadalich

# 1. Ajustes y Tolerancias

## 1.1. Unidad de tolerancia fundamental

Se obtiene por la siguiente expresión en micrones  $[\mu m]$ , donde  $D_N$  es la dimensión nominal en  $[mm]$ :

$$i(\mu) = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D_N} + 0,001 \cdot D_N$$

## 1.2. Coeficiente "K" para distintos grados de calidad

El valor del coeficiente numérico se determino asignando al grado de calidad de 6 un valor de K igual a 10, obteniéndose los valores para los grados de calidad siguiente según una progresión geométrica de razón 1,6. De esta manera se obtuvo el siguiente cuadro:

Grados de calidad	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
K	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

Tabla 1: Valores del coeficiente "K"

## 1.3. Tolerancia fundamental

Para indicar la tolerancia fundamental se utiliza la sigla IT, seguido del valor numérico del grado de calidad adoptado.

$$IT..... = K \cdot i(\mu) = K \cdot (0,45 \cdot \sqrt[3]{D_N} + 0,001 \cdot D_N)$$

## 1.4. Valores de discrepancia

Los valores de discrepancia se determinan analíticamente en base a la "Ley de las diferencias mas cercanas a la línea de cero". Las mismas se indican en la tabla 2.

Eje	Discrepancia	Formula	Discrepancia	Agujero
<i>a</i>	$D_S$	$64 \cdot D_N^{0,5}$	$D_I$	<i>A</i>
<i>b</i>	$D_S$	$40 \cdot D_N^{0,48}$	$D_I$	<i>B</i>
<i>c</i>	$D_S$	$25 \cdot D_N^{0,40}$	$D_I$	<i>C</i>
<i>d</i>	$D_S$	$16 \cdot D_N^{0,44}$	$D_I$	<i>D</i>
<i>e</i>	$D_S$	$11 \cdot D_N^{0,41}$	$D_I$	<i>E</i>
<i>f</i>	$D_S$	$5,5 \cdot D_N^{0,41}$	$D_I$	<i>F</i>
<i>g</i>	$D_S$	$2,5 \cdot D_N^{0,34}$	$D_I$	<i>G</i>
<i>k</i>	$D_I$	$0,6 \cdot \sqrt[3]{D_N}$	$D_S$	<i>K</i>
<i>m</i>	$D_I$	$2,8 \cdot \sqrt[3]{D_N}$	$D_S$	<i>M</i>
<i>n</i>	$D_I$	$5 \cdot D_N^{0,34}$	$D_S$	<i>N</i>
<i>p</i>	$D_I$	$5,6 \cdot D_N^{0,41}$	$D_S$	<i>P</i>

Tabla 2: Valores de discrepancia  $[\mu m]$ .

## 1.5. Tabla de tolerancia fundamental

En la figura 1 se indican la tabla de las amplitudes de tolerancia para los diferentes grados de calidad en función de las dimensiones nominales.

Grupos de Diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
$d \leq 3$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$3 < d \leq 6$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
$6 < d \leq 10$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
$10 < d \leq 18$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
$18 < d \leq 30$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
$30 < d \leq 50$	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
$50 < d \leq 80$	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
$80 < d \leq 120$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
$120 < d \leq 180$	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
$180 < d \leq 250$	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
$250 < d \leq 315$	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultrapre- -cisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar						Piezas o elementos que no han de ajustar						

Figura 1: Tolerancias [ $\mu m$ ].

## 1.6. Tabla de diferencias fundamentales para agujeros

En la figura 2 y 3 se presentan las diferencias o discrepancias fundamentales de los agujeros para las calidades mas comunes.

## 1.7. Tabla de diferencias fundamentales para ejes

En la figura 4 se presentan las diferencias o discrepancias fundamentales de los ejes para las calidades mas comunes.

## 1.8. Posición de la zona de tolerancia

A fin de indicar en forma mas directa y práctica un ajuste, las normas han adoptado las letras del abecedario para indicar la posición de la tolerancia con respecto a la línea de cero. En las figuras 5 y 6 se indican estas posiciones para ambos sistemas de ajustes. Figura 5 para el S.E.U. (Sistema de eje único) y la figura 6 para el S.A.U. (Sistema de agujero único)

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
d 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	IT/2
3 d 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	
6 d 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	
10 d 18	290	150	95		50	32		16		6	0	
18 d 30	300	160	110		65	40		20		7	0	
30 d 40	310	170	120		80	50		25		9	0	
40 d 50	320	180	130									
50 d 65	340	190	140		100	60		30		10	0	
65 d 80	360	200	150									
80 d 100	380	220	170		120	72		36		12	0	
100 d 120	410	240	180									
120 d 140	460	260	200									
140 d 160	520	280	210		145	85		43		14	0	
160 d 180	580	310	230									
180 d 200	660	340	240									
200 d 225	740	380	260		170	100		50		15	0	
225 d 250	820	420	280									
250 d 280	920	480	300		190	110		56		17	0	
280 d 315	1050	540	330									
315 d 335	1200	600	360		210	125		62		18	0	
335 d 400	1350	680	400									
400 d 450	1500	760	440		230	135		68		20	0	
450 d 500	1650	840	480									

Figura 2: Diferencias o discrepancias fundamentales para agujeros [ $\mu\text{m}$ ].

Posición	J			K				M					N					P		
Calidad	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7
Diámetro	Diferencia superior Ds																			
d 3	2	4	6	0	0	0	0	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	6	6	6
3 d 6	5	6	10	0	2	3	5	3	1	0	2	4	7	5	4	2	0	11	9	12
6 d 10	5	8	12	1	2	5	6	4	3	0	1	6	8	7	4	3	0	13	12	15
10 d 18	6	10	15	2	2	6	8	4	4	0	2	7	9	9	5	3	0	15	15	18
18 d 30	8	12	20	1	2	6	10	5	4	0	4	8	12	11	7	3	0	19	18	22
30 d 40	10	14	24	2	3	7	12	5	4	0	5	9	13	12	8	3	0	22	21	26
40 d 50																				
50 d 65	13	18	28		4	9	14	6	5	0	5	11	15	14	9	4	0	27	26	32
65 d 80																				
80 d 100	16	22	34	2	4	10	16	8	6	0	6	13	18	16	10	4	0	32	30	37
100 d 120																				
120 d 140																				
140 d 160	18	26	41	3	4	12	20	9	8	0	8	15	21	20	12	4	0	37	36	43
160 d 180																				
180 d 200																				
200 d 225	22	30	47	2	5	13	22	11	8	0	9	17	25	22	14	5	0	44	41	50
225 d 250																				
250 d 280	25	38	55	3	5	16	25	13	9	0	9	20	27	25	14	5	0	49	47	56
280 d 315																				
315 d 335	29	39	60	3	7	17	28	14	10	0	11	21	30	26	16	5	0	55	51	62
335 d 400																				
400 d 450	33	43	66	2	8	18	29	16	10	0	11	23	33	27	17	6	0	61	55	68
450 d 500																				

Figura 3: Diferencias o discrepancias fundamentales para agujeros [ $\mu\text{m}$ ].



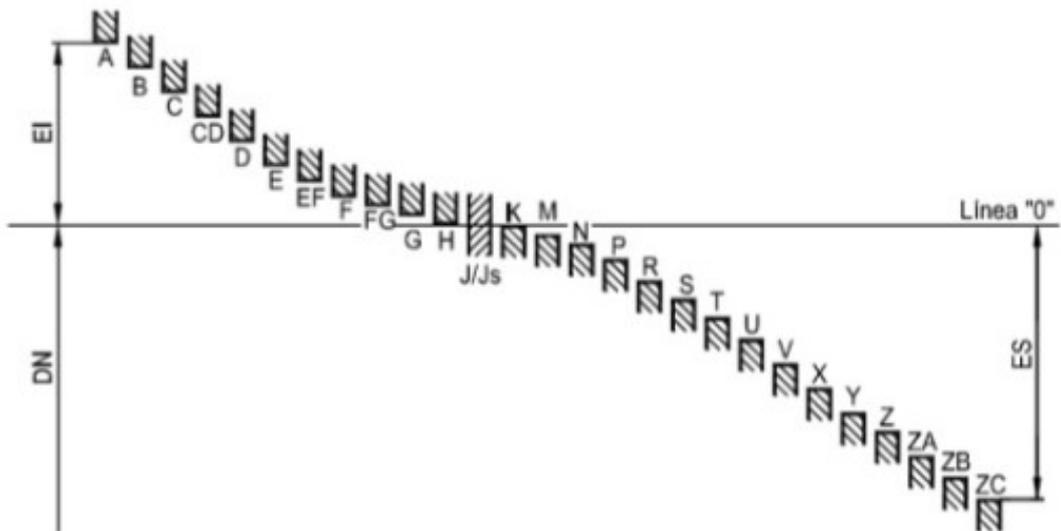


Figura 5: Posición de la zona de tolerancia para los agujeros. S.E.U.

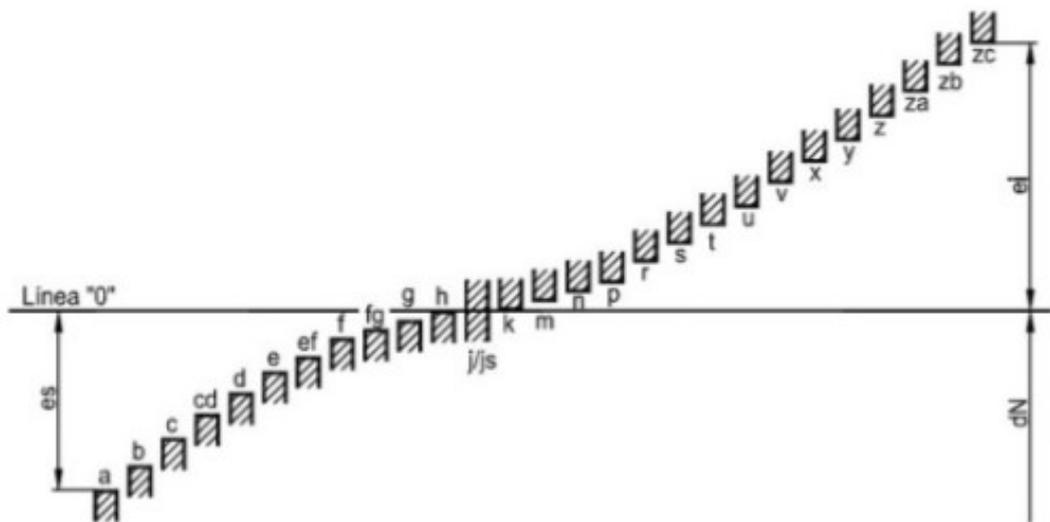


Figura 6: Posición de la zona de tolerancia para los ejes. S.A.U.

## 1.9. Ajustes recomendados ISO

En la tabla 3 se observan los ajustes recomendados para distintas aplicaciones industriales.

Tabla 3: Asientos de precisión. Características y aplicaciones.

Asiento	Características	Ejemplos de aplicación
$\frac{H_7}{p_6}, \frac{P_7}{h_6}$	Montaje con gran presión a prensa. No necesita seguro contra el giro.	Cubos de inducido en ejes de electromotores. Casquillos de bronce en cajas, cubos de ruedas y bielas, coronas de bronce en ruedas helicoidales y engranajes. Acoplamientos en extremos de ejes.
$\frac{H_7}{n_6}, \frac{N_7}{h_6}$	Montado y desmontado con gran esfuerzo. No necesita seguro contra el giro	Bandajes con centros de ruedas, casquillos de bronce, manguitos en cubos, platos en husillos de tornos al aire, collares calados sobre ejes, camisas de distribuidores cilíndricos en cilindros, ruedas de f.c. en ejes, piñones en ejes de motores. Inducidos de dinamos.
$\frac{H_7}{m_6}, \frac{M_7}{h_6}$	Montado y desmontado con considerable esfuerzo con martillo. Necesita seguro contra giro.	En maquinas herramientas, engranajes que se desmontan con frecuencia pero deben tener juego, poleas de correas
$\frac{H_7}{k_6}, \frac{K_7}{h_6}$	Montado y desmontado con martillo sin gran esfuerzo. Necesita seguro contra el giro y deslizamiento.	Engranajes en husillos, tornos, rodamientos a bolas (interior) y palancas volantes de mano en ejes, discos de excéntrica, poleas fijas y volantes en ejes, camisas de prensa-estopas, manguitos templados para palancas de cambio de marcha, manivelas para pequeños esfuerzos.
$\frac{H_7}{j_6}, \frac{J_7}{h_6}$	Montado y desmontado a mano o mazo de madera. Necesita seguro contra giro y deslizamiento.	Piezas de maquinas herramientas desmontables con frecuencia, y con fijación contra el giro, como casquillos, volantes de mano, rodamientos de bolas (exterior), casquillos de ruedas de cambio, espiga del vástago de embolo en la cruceta, espiga de horquilla de cambios.
$\frac{H_7}{h_6}, \frac{h_6}{H_7}$	En piezas lubricadas, deslizamiento a mano.	Ejes de contrapunto, engranajes de cambio de velocidades, mangos de volantes de mano, columnas guía de taladros radiales, cabezal con barra de taladrar, brazo superior de fresadoras, fresas de mandriles, espigas de indice de cabezales de platos divisores.
$\frac{H_7}{g_6}, \frac{G_7}{h_6}$	Piezas móviles sin juego apreciable.	Collares de retención, émbolos de freno de aceite, manguitos sueltos para pernos de émbolos, anillos exteriores de rodamientos de bolas, acoplamientos de platillos desembragables, bridas de centrar para tuberías y válvulas.
$\frac{H_7}{f_7}, \frac{F_7}{h_6}$	Piezas móviles con juego apreciable	Soporte de husillo en amoladoras y tornos con plantillas, ruedas dentadas corredizas en cajas de cambio, husillos en cabezales divisores, émbolos de indicadores, cojines de bielas: acoplamientos de discos desplazables.
$\frac{H_7}{e_8}, \frac{E_8}{h_6}$	Piezas móviles con gran juego	Cojinetes corrientes de precisión en maquinas herramientas, cojinetes principales en tornos. Fresadoras y taladros, ejes de cardan, cigüeñales, árbol de levas en sus casquillos, cojinetes de bielas, todos los soportes en reguladores, manguitos deslizables en ejes. Resbaladeras.
$\frac{H_7}{d_9}, \frac{D_9}{h_6}$	Piezas con mucho juego, aproximadamente 1,5 veces el de las sin juego apreciable.	Husillos roscados en soportes, consolas, ejes sobre soportes múltiples en maquinas herramientas.

## 2. Torneado

En la tabla 4 y 5 se aprecian valores recomendados de velocidades de corte y avance para el torneado de distintos materiales mediante diferentes herramientas. La nomenclatura utilizada en estas es la siguiente:

- C: Acero al carbono.
- R: Acero rápido.
- M: Metales duros.
- Resistencia a la tracción del material  $K_z$  en  $[Kg/mm^2]$ .
- Velocidades de corte en  $[m/min]$ .
- Avances en  $[mm/vuelta]$ .

Las velocidades indicadas en las tablas son valores medios recomendados por los fabricantes de las herramientas.

En la figura 7, se puede ver un ejemplo concreto de insertos para mecanizado de un fabricante, donde se puede observar, recomendaciones en valores medios y en un rango (máximos y mínimos), de espesores a mecanizar, avances y velocidades de corte.

Trabajo	Hta.	Material a tornear				
		Aceros			Fundición gris	Fundición maleable
		$K_z = 40$	$K_z = 60$	$K_z = 80$		
Desbaste	C	12	10	8	8	12
	R	25	20	15	18	20
	M	200	150	100	65	70
Terminación	C	20	15	12	15	18
	R	30	25	20	20	25
	M	300	180	130	95	85
Roscado	C	10	8	6	8	10
	R	14	12	10	12	15
	M					
Avances	C	0,1 a 3				
	R	0,5 a 5				
	M	Hasta 1,5				

Tabla 4: Valores medios de las velocidades de corte y avance en el torneado

Trabajo	Hta.	Material a torneear			
		Latón		Bronce	
		Semiduro	Duro	Blando	Duro
Desbaste	C	21	20	18	12
	R	40	30	25	18
	M	450	300	400	200
Terminación	C	90	32	30	20
	R	50	40	35	25
	M	600	400	450	300
Roscado	C	20	15	12	8
	R	30	24	22	15
	M				
Avances	C	0,1 a 3			
	R	0,2 a 3			
	M	Hasta 1			

Tabla 5: Valores medios de las velocidades de corte y avance en el torneado



Figura 7: Insertos de metales duros para torneado (Ejemplo)

### 3. Acepillado

**Velocidad de corte.** Como la expresión de  $V_a$  (velocidad de avance) es variable, es conveniente tomar un término medio y ella sería la velocidad disponible para el corte. Este valor debe coincidir con la velocidad de corte aconsejada para cada material que se trabaja y de acuerdo a la calidad del acero que forma la herramienta.

Material a trabajar	Herramienta	Velocidad de corte [ $m/min$ ]	Avance [ $mm$ ]
Acero dulce	C	6 a 12	0,1 a 8
	R	7 a 14	0,2 a 10
	M	20 a 100	0,2 a 12
Acero semiduro	C	5 a 10	0,1 a 8
	R	10 a 25	0,2 a 10
	M	15 a 80	0,2 a 12
Acero duro	C	4 a 9	0,1 a 8
	R	10 a 12	0,2 a 10
	M	15 a 60	0,2 a 12
Fundición	C	5 a 10	0,1 a 8
	R	6 a 14	0,2 a 10
	M	15 a 70	0,2 a 12
Fundición maleable	C	5 a 8	0,1 a 8
	R	5 a 10	0,2 a 10
	M	10 a 60	0,2 a 12
Bronce, Latón	C	10 a 20	0,1 a 10
	R	25 a 50	0,2 a 12
	M	50 a 250	0,2 a 12

Tabla 6: Velocidades de corte y avance en el acepillado

La velocidad de corte no queda limitada solamente por el material y la herramienta, sino también por el tipo constructivo de la máquina y las acciones de sus masas. Especialmente, no se pueden alcanzar velocidades de corte elevadas cuando se trabaja con carreras cortas en máquinas grandes y pesadas.

- Acero dulce, se consideran a los aceros con una resistencia a la tracción  $K_z$ , comprendidos entre 35 y 50 [ $Kg/mm^2$ ].
- Acero semiduro, a los aceros con una resistencia a la tracción  $K_z$  entre 50 y 65 [ $Kg/mm^2$ ].
- Acero duro, a los aceros con una resistencia a la tracción  $K_z$  entre 65 y 90 [ $Kg/mm^2$ ].

Material	$K_z$	Dureza Brinell	$K_s$
Aceros al carbono	50	140	200
Aceros al manganeso	63	180	250
Aceros al níquel, al cromo	80	210	250
Aceros al cromo-níquel	100	270	315
Aceros al cromo-vanadio, al molibdeno	125	340	400
Fundición gris dulce			80
Fundición semidura			100
Fundición dura o maleable			125
Fundición acerada			160
Cobre, bronce dulce			63
Cobre, bronce medio			80
Cobre, bronce duro			100
Aluminio (Aleaciones dulces)			50
Aluminio (Aleaciones duras)			63
Magnesio (Electrón)			31,5

Tabla 7: Resistencias específicas al corte en  $[Kg/mm^2]$

## 4. Brochado

Material a trabajar	Tipo de brocha		
	Redonda	Estriada acanalada	para chaveteros
Acero de $K_z = 110 \left[ \vec{Kg/mm^2} \right]$	0,032	0,04	0,05
Acero de $K_z = 80 \left[ \vec{Kg/mm^2} \right]$	0,04	0,05	0,063
Acero de $K_z = 55 \left[ \vec{Kg/mm^2} \right]$	0,05	0,063	0,08
Acero muy dulce	0,063	0,08	0,1
Fundición dura	0,063	0,08	0,1
Fundición blanda	0,08	0,1	0,125
Bronce duro	0,08	0,1	0,125
Bronce dulce	0,1	0,125	0,160
Latón	0,1	0,125	0,160
Aluminio (Aleaciones duras)	0,125	0,180	0,2

Tabla 8: Incremento radial máximo e [mm]

Material a trabajar	Resistencia a la rotura $K_z$ en $\left[ \vec{Kg/mm^2} \right]$	$V_c$ en [m/min]
Fundición	12 - 22	1,2
Fundición maleable	22 - 28	2
Acero dulce, semiduro	35 - 65	4
Acero duro	65 - 90	3 - 3,5
Acero muy duro	90 - 120	2,5
Bronce, latón y cobre	28 - 50	3

Tabla 9: Velocidades de corte en el brochado con herramientas de acero rápido

## 5. Fresado

Material a trabajar	Velocidad de corte $V_c$		Velocidad de avance $V_a$
	Desbaste	Terminación	
Cobre y aluminio	60 - 80	80 - 100	80 - 120
Bronce común	25 - 28	35 - 40	80
Bronce duro	20 - 25	30 - 35	45
Acero dulce $K_z = 40 \sim 50 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	16 - 20	25 - 30	60
Acero de $K_z = 60 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	15 - 18	22 - 25	40
Acero de $K_z = 70 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	12 - 16	18 - 22	30
Acero de $K_z = 80 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	10 - 15	16 - 18	25
Acero de $K_z = 90 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	9 - 13	14 - 16	22
Acero de $K_z = 100 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	8 - 12	13 - 15	20
Fundición blanda	12 - 15	18 - 22	45
Fundición dura	17 - 20	12 - 15	18

Tabla 10: Velocidades de corte  $V_c$  en  $[m/min]$  y de avance  $V_a$  en  $[mm/min]$  para **fresas de acero rápido**

Material a trabajar	Velocidad de corte $V_c$		Velocidad de avance $V_a$
	Desbaste	Terminación	
Cobre y aluminio	40 - 50	50 - 60	40 - 60
Bronce común	15 - 28	20 - 22	40
Bronce duro	10 - 12	13 - 15	20
Acero de $K_z = 50 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	8 - 10	10 - 12	20
Acero de $K_z = 60 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	7 - 9	9 - 11	18
Acero de $K_z = 70 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	6 - 8	8 - 9	15
Acero de $K_z = 80 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	5 - 6	6 - 7	13
Acero de $K_z = 90 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	4 - 5	5 - 6	12
Acero de $K_z = 100 \left[ \vec{K}g/mm^2 \right]$	3 - 4	4 - 5	10
Fundición blanda	8 - 10	10 - 12	18
Fundición dura	3 - 5	4 - 6	10

Tabla 11: Velocidades de corte  $V_c$  en  $[m/min]$  y de avance  $V_a$  en  $[mm/min]$  para **fresas de acero al carbono**

## 6. Taladrado

Material a trabajar	$K_z$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	$V$ [m/min]	$a$ [mm/vuelta]
Fundición	12 a 22	36 a 25	d/50
Fundición de cilindros	22 a 28	22 a 15	15d/1000
Acero dulce	35 a 65	38 a 25	d/100
Acero duro	65 a 90	25 a 14	d/100
Acero muy duro	90 a 120	18 a 14	d/100
Bronce, latón y cobre	23 a 50	60 a 25	d/100
Aluminio y duraluminio	14 a 26	250 a 80	15d/1000

Tabla 12: Valores medios de la velocidad de corte en el taladrado. Mechas de acero rápido.

Para brocas de acero al carbono debe tomarse  $v = 0,5v_{ss}$  y  $a = 0,5a_{ss}$  ( $v_{ss}$  y  $a_{ss}$  velocidad y avance para brocas de acero rápido.).

Para brocas de acero super rápido debe tomarse  $v = v_{ss}/0,8$  y  $a = a_{ss}/0,8$ .

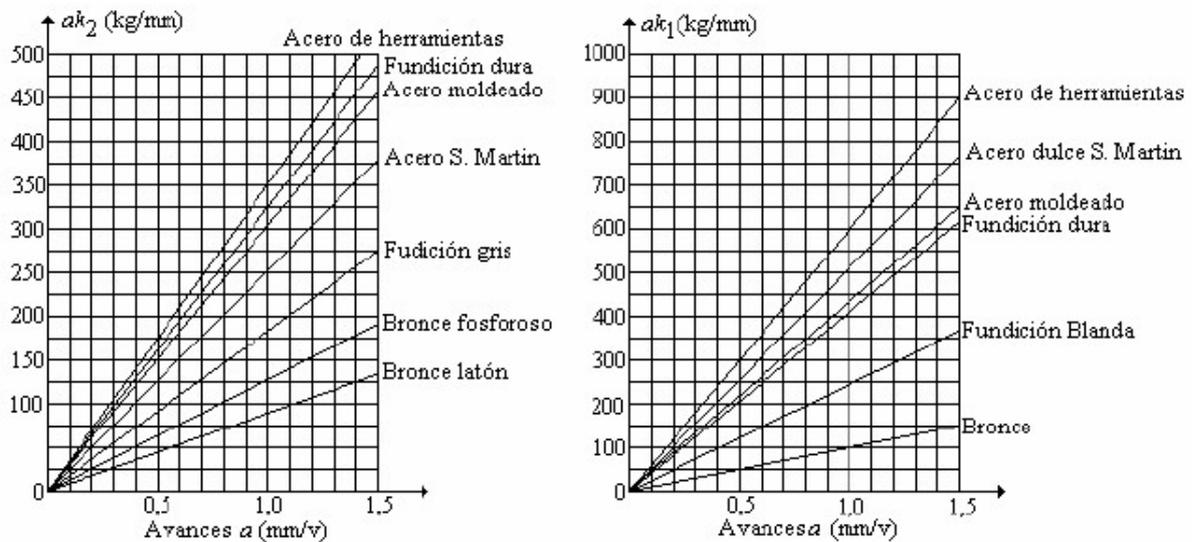


Figura 8: Gráficos de Coudron.

## 7. Rectificado

El trabajo de esmerilado o rectificado mediante muelas se hace utilizando varios movimientos, cada uno de los cuales a la velocidad que resulta mas conveniente. De acuerdo con esto se debe considerar los siguientes puntos:

### 7.1. Velocidad periférica en base a la naturaleza de la muela.

Por razones de seguridad (influencia de la fuerza centrífuga), es conveniente tomar en consideración los siguientes valores:

Naturaleza de la muela	Velocidad de la muela, $V_m$ en $[m/seg]$
Silicato	20 a 25
Carborundo	22 a 30
Cerámicas	25 a 35
Elásticas	40 a 50
Bakelita	45 a 50

Tabla 13: Velocidad de la muela en virtud de su naturaleza.

### 7.2. Velocidad periférica de la muela en función del tipo de rectificado.

#### 7.2.1. Rectificación cilíndrica externa (con muelas cerámicas o al silicato)

Material a trabajar	Velocidad de la muela, $V_m$ en $[m/seg]$
Acero templado	20 a 25
Acero normalizado	30 a 35
Fundición, bronce y latón	20 a 30
Aluminio y metales livianos	16 a 20

Tabla 14: Velocidad de la muela para rectificación cilíndrica externa.

#### 7.2.2. Rectificación cilíndrica interna (con muelas cerámicas o al silicato)

Se adopta el valor mínimo indicado anteriormente. A pensar de ello, las velocidades de rotación resultan muy elevadas, lo que es factible, dada la construcción actual de los mandriles que accionan la muela. Esta velocidad puede alcanzar velocidades de rotación de 56000  $[rpm]$  para muelas de 4  $[mm]$  de diámetro, correspondiendo para ella una velocidad periférica de 11,8  $[m/seg]$ , inferior a cualquiera de los límites mínimos indicados.

#### 7.2.3. Rectificación plana

1. *Discos*: La velocidad es variable, a distintas distancias del centro, cuando se emplean muelas a disco. En este caso es necesario y prudente adoptar la periférica, dentro de los límites indicados para la rectificación cilíndrica exterior.
2. *Taza y sectores*: Muelas cerámicas o al silicato.

Material a trabajar	Velocidad de la muela, $V_m$ en $[m/seg]$
Acero templado	18 a 22
Acero normalizado y fundición	22 a 28
Bronce, latón y aluminio	16 a 20

Tabla 15: Velocidad de la muela tipo *taza o sectores* para rectificación plana.

#### 7.2.4. Afilado de herramientas

Se realiza con lubricación y refrigeración, recomendándose valores para la muela de:  $V_m = 25$  a  $30 [m/seg]$ .

#### 7.2.5. Desbarbado, desgrosado

1. Con muelas cerámicas o al silicato:

Material a trabajar	Velocidad de la muela, $V_m$ en $[m/seg]$
Acero y fundición	15 a 20
Aluminio	20 a 25

Tabla 16: Velocidad de la muela para el desbarbado y desgrosado.

2. Con muelas bakelitizadas:

Material a trabajar	Velocidad de la muela, $V_m$ en $[m/seg]$
Acero y fundición	40 a 50

Tabla 17: Velocidad de la muela para el desbarbado y desgrosado.

#### 7.2.6. Aserrado del acero

1. Con muelas elásticas:  $V_m = 45$  a  $65 [m/seg]$ .
2. Con muelas bakelitizadas:  $V_m = 60$  a  $80 [m/seg]$ .

#### 7.3. Valores para casos especiales.

1. Afilado de herramientas con muelas de naturaleza arenosa:  $V_m = 5 [m/seg]$ .
2. Afinado del filo y pulido:

Naturaleza de la muela	Velocidad de la muela, $V_m$ en $[m/seg]$
Muelas de cuero	40 a 50
Muelas de madera revestidas en cuero	35 a 40
Discos de fieltro	hasta 20
Discos y cintas de tela esmeril	hasta 40

Tabla 18: Velocidad de la muela para el afinado y pulido.

#### 7.4. Velocidad de la pieza o de la muela en su movimiento planetario.

La elección correcta de esta velocidad, es importante, por cuanto es grande la influencia sobre la operación del rectificado, mucho mayor que la correspondiente a la velocidad de la muela misma.

En la rectificación plana, la velocidad de la pieza corresponde a la velocidad de avance de la mesa que sostiene la pieza, en su movimiento de traslación rectilínea.

En la rectificación de cilindros, la pieza es fija, por lo tanto esta velocidad es la rotación del centro de la muela en su movimiento planetario.

Material a trabajar	Velocidad de la pieza, $V_p$ en $[m/min]$
Acero templado	10 a 16
Acero normalizado	8 a 12,5
Fundición	11,2 a 18
Latón	12,5 a 20
Aluminio	25 a 40

Tabla 19: Velocidad de la pieza.

#### 7.5. Valores de avance lateral.

Este es siempre una fracción del ancho útil de la muela  $b$ .

Material a trabajar o tipo de trabajo	Avance lateral $a$
Acero	$\frac{2}{3} a \frac{3}{4} \cdot b$
Fundición	$\frac{3}{4} a \frac{4}{5} \cdot b$
Para el esmerilado muy fino	$\frac{1}{3} a \frac{1}{4} \cdot b$

Tabla 20: Avance lateral.

#### 7.6. Valores de profundidad o espesor de pasada.

Tipo de trabajo	Material a trabajar	Espesor de pasada $e$ $[mm]$
Desgrosado	Acero templado	0,02 a 0,03
Terminación	Acero templado	0,005 a 0,01
Desgrosado	Acero normalizado	0,03 a 0,06
Terminación	Acero normalizado	0,005 a 0,02
Desgrosado	Fundición	0,08 a 0,16
Terminación	Fundición	0,02 a 0,05
Desgrosado	Latón y aluminio	0,125 a 0,25
Terminación	Latón y aluminio	0,02 a 0,1

Tabla 21: Profundidad o espesor de pasada.

## 8. Punzonado y doblado de la chapa

Material	Condición	
	Normal	Endurecido
Aleaciones de aluminio	0	$6 \cdot e$
Cobre berilio	0	$4 \cdot e$
Latón (con bajo plomo)	0	$2 \cdot e$
Magnesio	$5 \cdot e$	$13 \cdot e$
Acero inoxidable austenítico	$0,5 \cdot e$	$6 \cdot e$
Acero de bajo carbono y baja aleación	$0,5 \cdot e$	$4 \cdot e$
Titanio	$0,7 \cdot e$	$3 \cdot e$
Aleaciones de titanio	$2,6 \cdot e$	$4 \cdot e$

Tabla 22: Radio mínimo de doblado para diversos metales a temperatura ambiente. Donde  $e$  representa el espesor de la chapa

$r_i/e$	$y$
0,2	$0,347 \cdot e$
0,5	$0,387 \cdot e$
1	$0,421 \cdot e$
2	$0,451 \cdot e$
3	$0,465 \cdot e$
4	$0,470 \cdot e$
5	$0,478 \cdot e$
10	$0,487 \cdot e$

Tabla 23: Valores experimentales de “ $y$ ”(posición de la línea neutra) en función del radio de doblado el espesor de la chapa

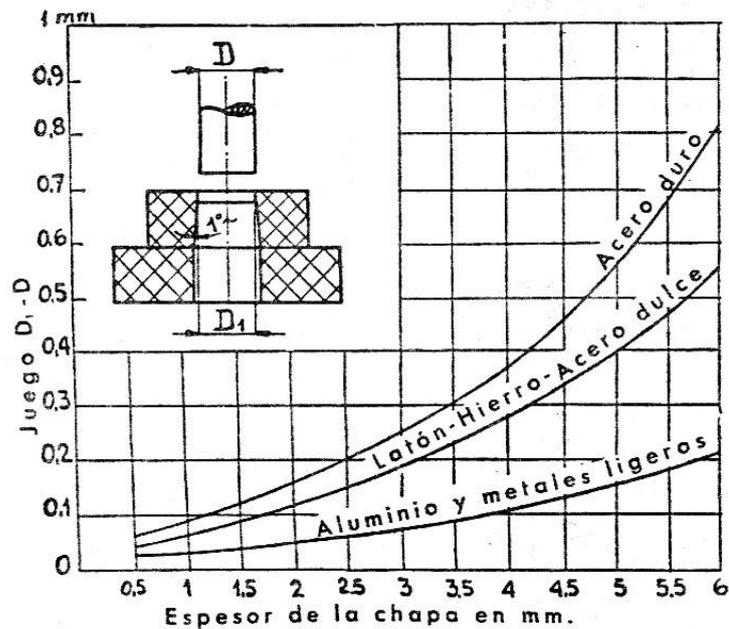


Figura 9: Gráfico para determinar el juego entre punzón y matriz, en función del material y el espesor de la chapa

## 9. Embutido de la chapa

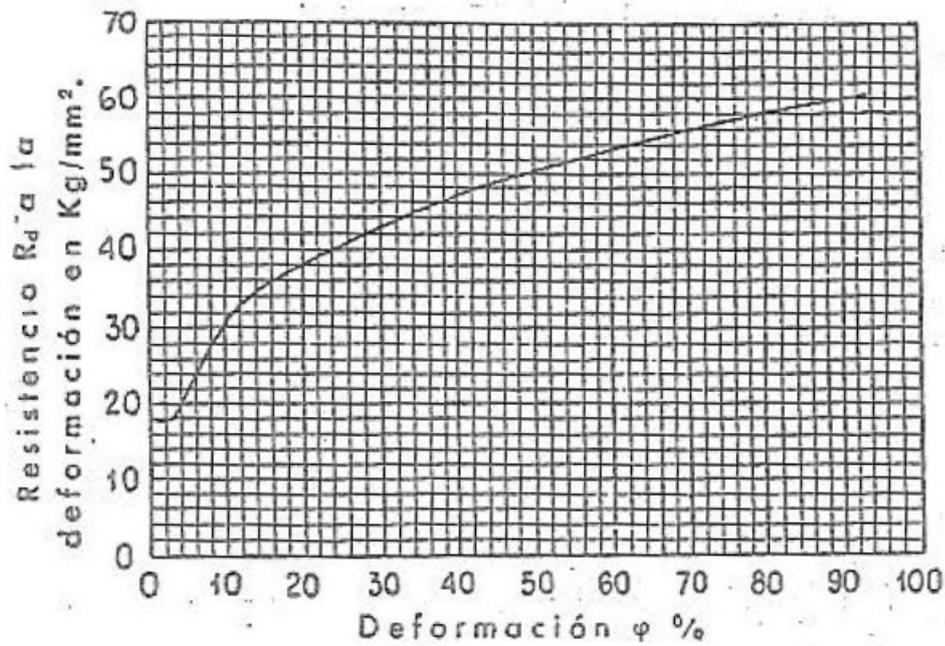


Figura 10: Diagrama para determinar la resistencia  $R_d$  a la deformación en función de  $\Phi$  % para el acero extra-dulce de embutir con un  $\sigma_r = 31$   $[Kg/mm^2]$

$r_0/r_i$	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
$n^*$	0,197	0,404	0,732	1,013	1,287	1,565	1,853	2,11	2,405	2,666
$r_0/r_i$	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2
$n^*$	2,928	3,189	3,443	3,704	3,963	4,228	4,485	4,714	4,939	5,194

Tabla 24: Coeficientes de corrección para el cálculo de la fuerza de deformación máxima utilizando la fórmula genérica cuando  $\sigma_r \neq 31$   $[Kg/mm^2]$

## 10. Extrusión inversa

Deformación $\Phi$ %	$R_d$ $[Kg/mm^2]$
0 a 10	10 a 13
10 a 20	13 a 16
20 a 40	16 a 19
40 a 60	19 a 20
> 60	20 a 25

Tabla 25: Valores de la resistencia que ofrece el material a la deformación  $R_d$  para el aluminio puro recocido

## 11. Forjado y Laminado

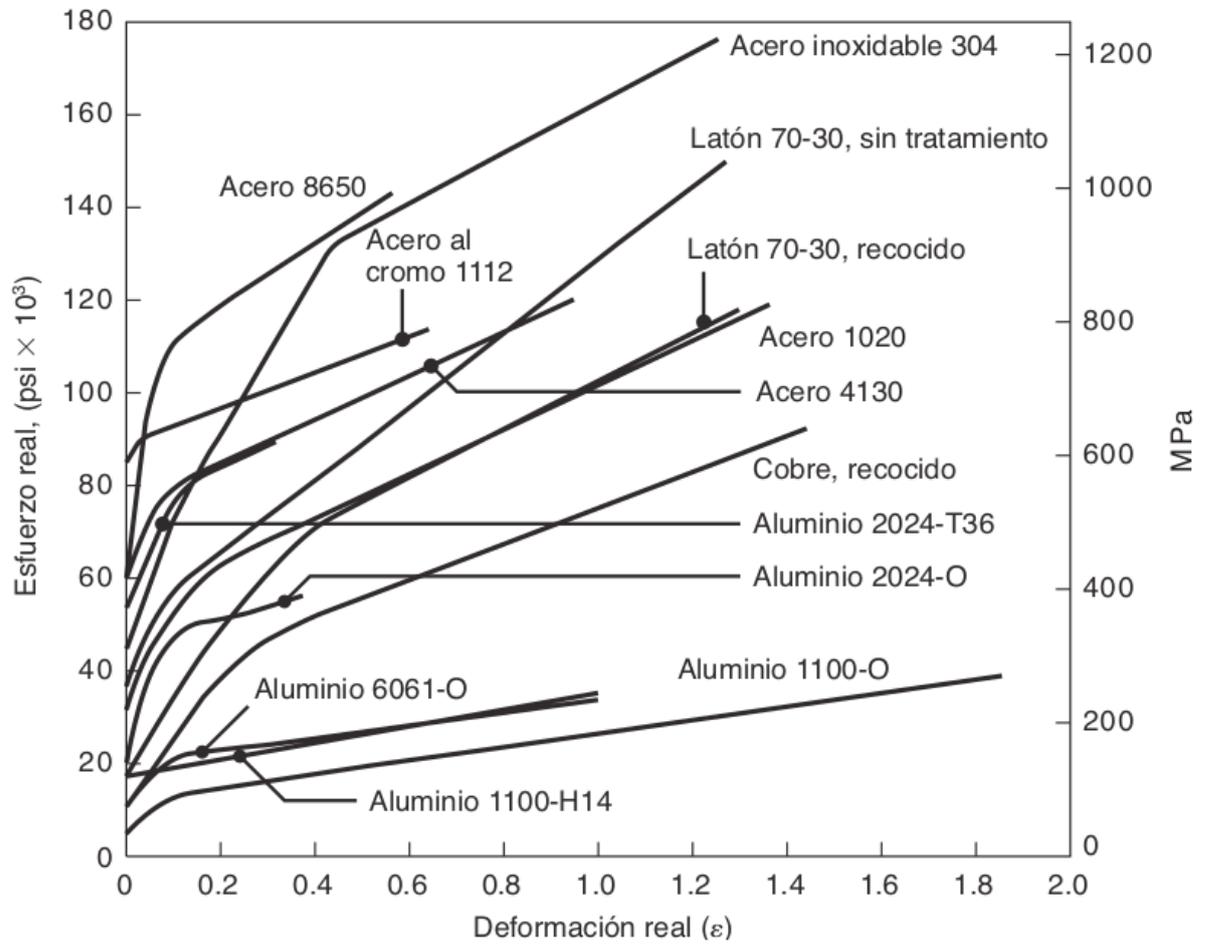


Figura 11: Curvas esfuerzo-deformación reales en tensión a temperatura ambiente para diversos metales. Las curvas inician a un nivel finito de esfuerzo: las regiones elásticas tienen una pendiente muy pronunciada para mostrarse en esta figura, por lo que cada curva comienza en el esfuerzo de fluencia del material [Kalpakjian and Schmid, 2014]

## Referencias

[Kalpakjian and Schmid, 2014] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología. Volumen 2*. Pearson educación.